



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ – ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Τομέας Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

**«Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου  
διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική  
απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας»**

**ΚΑΛΛΙΟΠΗ ΠΑΝΟΥΣΗ | | ΒΟΛΟΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2018**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΚΑΛΛΙΟΓΛΟΥ ΠΟΛΥΞΕΝΗ**



*Αφιερώνεται...*  
*στη μνήμη του αγαπημένου φίλου μου Baltazar,*  
*που έζησε σα μάγκας, έφυγε σαν Ήρωας*  
*και θα έχει πάντα θέση στην καρδιά μου*





## Ευχαριστίες

---

Με το πέρας των προπτυχιακών σπουδών μου, θα ήθελα κατ' αρχάς να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κα Πολυξένη Καλλιόγλου, για τη συνεχή υποστήριξη και την άμεση ανταπόκριση σε κάθε ζήτημα που προέκυπτε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Ηλία Πανούση και Αργυρώ Καλογιάννη, για την ψυχολογική και υλική υποστήριξη που μου πρόσφεραν όλα τα χρόνια για την επίτευξη αυτού του σκοπού. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την καλή μου φίλη και συνάδελφο Μαίρη Βερίλλη για την χρόνια υποστήριξή της και απαραίτητη καθοδήγησή της αφού το μεγαλύτερο μέρος των σπουδών μου ήταν εξ αποστάσεως, τον φίλο μου Μανώλη Φυλακτόπουλο που βλέποντας την δική του υπομονή και προσήλωση στο αντικείμενό του παραδειγματίζομαι η ίδια για περαιτέρω προσπάθεια, και τέλος την αγαπημένη μου μικρή ανιψιά, Αγγελική Ξενάκη που δίνει χαρά και φως σε όλες τις πτυχές της ζωής μου!



## Περίληψη

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση της απόκρισης του εδάφους σε περίπτωση σεισμού για συγκεκριμένες κατηγορίες εδαφών και εδαφικές συνθήκες, χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές προτάσεις καμπυλών δυναμικών ιδιοτήτων του εδάφους. Η μία πρόταση αφορά στη διεθνή βιβλιογραφία (Vucetic & Dobry, 1991), ενώ η άλλη προέκυψε από πειραματικά αποτελέσματα εδαφών από την Ελλάδα και την Κύπρο (Kallioğlu et al., 2008).

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις διαφορές στα δυναμικά μεγέθη που προτείνει κάθε μία από τις παραπάνω βιβλιογραφικές αναφορές. Για την εκπόνηση των αναλύσεων, χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα EERA σε περιβάλλον Microsoft Excel. Το πρόγραμμα βασίζεται στη θεωρία της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης σε συνθήκες μονοδιάστατης διέγερσης (1-D). Η μελέτη αφορά σε εδάφη μέσης και υψηλής πλαστικότητας, των οποίων οι επιμέρους κατηγορίες εδαφούς, για τις οποίες πραγματοποιήθηκε η ανάλυση, προσδιορίστηκαν με σκοπό να αναδειχθεί η επίδραση κάθε δυναμικού μεγέθους στη σεισμική απόκριση του εδάφους.

Τα αποτελέσματα των φασματικών επιταχύνσεων που προέκυψαν από κάθε ανάλυση για κάθε κατηγορία εδαφούς συντάχθηκαν σε ένα κοινό διάγραμμα και για τις δυο περιπτώσεις πλαστικότητας, για διάφορες ταχύτητες διατμητικών κυμάτων και διάφορα πάχη του εδαφικού στρώματος. Από τη σύγκριση των μέγιστων τιμών της φασματικής επιτάχυνσης σε κάθε διάγραμμα διαπιστώθηκαν διαφορές όπως και ομοιότητες για τις προτεινόμενες καμπύλες των δυναμικών εδαφικών ιδιοτήτων, εξάγοντας χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη συμπεριφορά του εδάφους εξαιτίας των διαφορών των δυναμικών μεγεθών.

### **Λέξεις κλειδιά**

*Μέτρο διάτμησης, λόγος απόσβεσης, πλαστικότητα, σεισμική απόκριση εδάφους, ισοδύναμη γραμμική ανάλυση*



## Summary

---

This diploma thesis aims to investigate the soil seismic response in case of specific soil categories, using two different literature proposals of curves for the dynamic soil properties. One suggestion concerns the experimental results by various researchers which were later studied by Vucetic & Dobry (1991), while the other one emerges from experimental soil results from Greece and Cyprus (Kallioglou et al., 2008).

The comparison of the results concluded from the differences in the dynamic soil properties proposed by both literature sources are presented. A parametric study was conducted using two seismic records. For the analysis, the EERA computational program was used in Microsoft Excel. The above program is based on the theory of equivalent linear analysis in conditions of one-dimensional stimulation (1-D). The study was conducted in medium and high plasticity soils. The study was conducted in medium and high plasticity soils, and the selection of each soil category, for which the study was carried out, was made in order to highlight the effect of each proposed potential magnitude on the ground seismic response.

The results of the spectral accelerations obtained from each analysis for each soil category were compiled in a common figure for both plasticity cases, for different shear wave velocities and different soil layer thicknesses. From the comparison of the maximum spectral acceleration values in each figure, differences and similarities are observed between the two literature proposals, drawing useful conclusions on the soil behavior due to the difference in the dynamic soil properties.

### **Keywords**

*shear modulus, damping ratio, plasticity, seismic ground response, equivalent linear analysis*

## Περιεχόμενα

---

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	7
SUMMARY .....	9
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 Γενικά.....	13
1.2 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας.....	14
1.3 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....	17
2.1 Βασικές έννοιες στη διάδοση των σεισμικών κυμάτων.....	17
2.2 Σεισμικές Διεγέρσεις .....	18
2.3 Μέθοδοι Ανάλυσης Σεισμικής Απόκρισης.....	20
2.3.1 Αναλυτικές Μέθοδοι.....	21
2.3.2 Εμπειρικές Μέθοδοι .....	22
2.3.3 Αριθμητικές Μέθοδοι .....	22
2.4 Υπολογιστικό Πρόγραμμα EERA.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	29
3.1 Καμπύλες μεταβολής του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης με τη διατμητική παραμόρφωση .....	29
3.1.1 Προτεινόμενες καμπύλες βιβλιογραφίας από τους Vucetic & Dobry (1991).....	29
3.1.2 Προτεινόμενες καμπύλες από τους Kalligiorgi et al. (2008) .....	30
3.2 Κατηγορίες Εδάφους.....	32
3.2.1 Κατηγορίες Εδάφους EC8 συναρτήσει $V_{s,30}$ και PI .....	32
3.2.2 Προσδιορισμός των μελετηθέντων εδαφικών κατηγοριών .....	33
3.3 Εδαφική Τομή .....	38
3.4 Συχνотικό περιεχόμενο της εδαφικής κίνησης .....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	43

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη  
σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

4.1	Φασματικές επιταχύνσεις ανά κατηγορία εδάφους .....	43
4.1.1	Κατηγορία Εδάφους C.....	43
4.1.2	Κατηγορία εδάφους D .....	59
4.1.3	Κατηγορία Εδάφους E.....	67
4.1.4	Έδαφος κατηγορίας S1.....	113
4.1.5	Έδαφος κατηγορίας S2.....	123
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....		128
5.1	Πίνακες Σύγκρισης Αποτελεσμάτων.....	128
5.1.1	Πίνακες Σύγκρισης Αποτελεσμάτων σεισμού Taft .....	129
5.1.2	Πίνακες Σύγκρισης Αποτελεσμάτων σεισμού Tabas .....	132
5.2	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων.....	135
5.2.1	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων σεισμού Taft .....	135
5.2.2	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων σεισμού Tabas.....	137
5.3	Σύγκριση και συσχετισμός αποτελεσμάτων σεισμών Taft και Tabas .....	138
5.3.1	Εδάφη μέση πλαστικότητα με $PI=27\%$ .....	138
5.3.2	Εδάφη υψηλής πλαστικότητας με $PI=66\%$ .....	139
5.4	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων ανά κατηγορία εδάφους EC8 .....	140
5.4.1	Κατηγορία εδάφους C.....	140
5.4.2	Κατηγορία εδάφους D .....	141
5.4.3	Κατηγορία εδάφους E.....	142
5.4.4	Έδαφος κατηγορίας εδάφους S1.....	143
5.4.5	Έδαφος κατηγορίας S2.....	143
5.5	Συμπεράσματα.....	144
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....		145
Οδηγίες χρήσης υπολογιστικού προγράμματος EERA .....		145
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		146
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....		147
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....		147





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

### 1.1 Γενικά

Η Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική αποτελεί βασικό κλάδο της Σεισμικής Μηχανικής, που συνεργάζεται στενά με την επιστήμη της Τεχνικής Σεισμολογίας για την σύνθεση μιας ολοκληρωμένης εικόνας και επίλυσης ενός γεωτεχνικού δυναμικού προβλήματος. Επομένως, προκύπτει η ανάγκη συνδυασμού ποικίλων γνωστικών αντικειμένων και συνεργασίας μηχανικών διαφόρων ειδικοτήτων για τον επιτυχή σχεδιασμό τεχνικών έργων, τα οποία πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές ασφαλείας και χρηστικότητας για το σκοπό που εξυπηρετούν.

Ο κύριος διαχωρισμός του αντικείμενου της εδαφοδυναμικής από αυτό της εδαφομηχανικής, και κατά συνέπεια της τεχνικής σεισμικής μηχανικής από την κλασική γεωτεχνική μηχανική, έγκειται (α) στον συνυπολογισμό των αδρανειακών δυνάμεων, που δημιουργούνται ως αντίσταση στην αλλαγή της κινητικής κατάστασης της μάζας, στις δρώσες δυνάμεις, και (β) στον δυναμικό χαρακτήρα των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων.

Αντικείμενο της Τεχνικής Σεισμολογίας είναι η γνώση του μηχανισμού της γένεσης των σεισμών, οι μέθοδοι ποιοτικής και ποσοτικής περιγραφής των σεισμών (μέγεθος, εντάση), η διάδοση της σεισμικής ενέργειας στο χώρο, τα σεισμικά κύματα, η μελέτη της εξασθένησης της έντασης του σεισμικού κραδασμού με την απόσταση από την πηγή, η σεισμικότητα, η σεισμική επικινδυνότητα και διακινδύνευση, η περιγραφή της ισχυρής εδαφικής ταλάντωσης στο πεδίο του χρόνου (χρονοϊστορίες των επιταχύνσεων, ταχυτήτων και εδαφικών μετακινήσεων) και η μεταβολή των συχνοτήτων (φάσματα Fourier και απόκρισης). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ισχυρή εδαφική κίνηση εξαρτάται όχι μόνο από την ένταση και τα χαρακτηριστικά του σεισμού, όπως περιγράφονται από την πηγή, δηλαδή στο σεισμικό ρήγμα ή γενικότερα στον σεισμογόνο χώρο, αλλά και από τα χαρακτηριστικά της διαδρομής. Αντίστοιχα, αντικείμενο της Εδαφοδυναμικής είναι ο προσδιορισμός και η μελέτη των εδαφικών ιδιοτήτων σε δυναμικές και κυκλικές φορτίσεις και η περιγραφή τους μέσω καταστατικών νόμων. Φυσικά απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθή εκτίμηση των συνθηκών του πεδίου είναι η εκτέλεση με συνέπεια δοκιμών πεδίου και εργαστηριακών μεθόδων για τον προσδιορισμό των δυναμικών ιδιοτήτων του εδάφους. Η Τεχνική Σεισμολογία σε συνεργασία με την Εδαφοδυναμική έχουν απώτερο σκοπό την εκτίμηση των σεισμικών φορτίων σχεδιασμού των τεχνικών έργων του πολιτικού μηχανικού.

Ο κλάδος της Γεωτεχνικής Σεισμικής Μηχανικής έχει ως αντικείμενο τον αντισεισμικό σχεδιασμό των θεμελιώσεων τεχνικών έργων, αντιστηρίξεων, πρανών, επιχωμάτων-αναχωμάτων, υπόγειων κατασκευών, αγωγών και σιράγγων. Ιδιαίτερη σημασία για την αξιοπιστία της εκτίμησης των εδαφικών συνθηκών του πεδίου ενός μεγάλου τεχνικού έργου, είναι ο εργαστηριακός προσδιορισμός και η αναλυτική περιγραφή

της μη γραμμικής και ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς του εδαφικού υλικού, η χρήση γεωφυσικών και άλλων τεχνικών πεδίου για την εκτίμηση των εδαφικών δυνατοτήτων, όπως επίσης, η εκτίμηση του κινδύνου ρευστοποίησης, ειδικά σε μη συνεκτικά εδάφη. Για τεχνικά έργα μικρότερης κλίμακας είθισται να χρησιμοποιούνται εδαφικές δυναμικές ιδιότητες και ειδικότερα καμπύλες μεταβολής του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης με την παραμόρφωση,  $G/G_{\max}$ - $\gamma$  και  $DT$ - $\gamma$ , που προτείνονται από τη βιβλιογραφία και οι οποίες αναφέρονται εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

## 1.2 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Στα γεωτεχνικά έργα μεγάλης κλίμακας, η εκτίμηση των δυναμικών παραμέτρων του εδάφους, δηλαδή του μέτρου διάτμησης,  $G$ , και του λόγου απόσβεσης,  $DT$ , καθώς και της μεταβολής αυτών με τη διατμητική παραμόρφωση,  $\gamma$ , γίνεται κυρίως μέσω εργαστηριακών πειραμάτων ανακυκλικής φόρτισης.

Ωστόσο λόγω πολυπλοκότητας των μεθόδων αυτών, τόσο σε τεχνικά μέσα και χρόνο όσο και σε ιδανικές συνθήκες εκτέλεσης των πειραμάτων, τις περισσότερες φορές στη γεωτεχνική πρακτική χρησιμοποιούνται καμπύλες  $G/G_{\max}$ - $\gamma$  και  $DT$ - $\gamma$  που προτείνονται από την διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία, όπως είναι αυτές που προτείνουν οι Vucetic & Dobry (1991), Σχήμα 4, τις οποίες μελετά και συγκρίνει η παρούσα εργασία.

Παρόλα αυτά, η γενικευμένη χρήση τους εγείρει προβληματισμό ως προς την αξιοπιστία τους, ειδικά όσον αφορά τον ελλαδικό χώρο, ο οποίος παρουσιάζει ποικιλομορφία των εδαφικών αποθέσεων και χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα σεισμογενής λόγω της συνάντησης και σύγκλισης της Ευρασιατικής και Αφρικανικής πλάκας διαμορφώνοντας το ελληνικό τεκτονικό τόξο (τόξο του Αιγαίου), αναδεικνύοντας έτσι την Ελλάδα στην πιο σεισμογενή χώρα της Μεσογείου και στην έκτη πιο σεισμογενή στην παγκόσμια κατάταξη.

Προκύπτει επομένως η ανάγκη υιοθέτησης κατάλληλων καμπυλών  $G/G_{\max}$ - $\gamma$  και  $DT$ - $\gamma$  για την κατασκευή ασφαλών και οικονομικών γεωτεχνικών έργων, ειδικά και συγκεκριμένα για την Ελλάδα, οδηγώντας στην περαιτέρω μελέτη του ελληνικού χώρου ως προς τις ιδιότητές του.

Αρκετά χρόνια αργότερα από την έρευνα των Vucetic & Dobry (1991), Έλληνες ερευνητές πραγματοποίησαν έρευνα για τη συμπεριφορά και τις δυναμικές ιδιότητες σε ελληνικό έδαφος και έτσι, οι Καλλιόγλου (2003) και Kalliloglou et al. (2008), πρότειναν τις καμπύλες  $G/G_{\max}$ - $\gamma$  και  $DT$ - $\gamma$  του Σχήμα 5.

Όπως θα δούμε στη συνέχεια διεξοδικά, οι προτάσεις καμπυλών δυναμικών ιδιοτήτων από τους Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008), συμφωνούν σε καίρια σημεία, παρουσιάζοντας ωστόσο σημαντικές αποκλίσεις για τιμές

συγκεκριμένων παραμορφώσεων, καταλήγοντας συχνά σε διαφορετικά συμπεράσματα.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η προσομοίωση της απόκρισης του εδάφους, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης, μέσω του υπολογιστικού προγράμματος EERA, για τις παραπάνω προτεινόμενες από τη βιβλιογραφία καμπύλες. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν αξιολογούνται και εκτιμώνται για κάθε δυναμικό μέγεθος ξεχωριστά. Πρακτικά, για λόγους ασφαλείας, σε ένα τεχνικό έργο χρησιμοποιούνται οι δυσμενέστεροι συνδυασμοί δυναμικών δράσεων όπως και εκτιμήσεων τιμών δυναμικών ιδιοτήτων. Για το λόγο αυτό, όπως και για λόγους κατανόησης της διαφοροποίησης της σεισμικής εδαφικής απόκρισης λόγω των διαφορών στις προτεινόμενες καμπύλες των Vucetic & Dobry (1991) και Kallioğlu et al. (2008), σχεδιάστηκαν διαγράμματα τα οποία περιγράφουν τον τρόπο που αποκρίνεται το έδαφος, μέσω της μεταβολής της φασματικής επιτάχυνσης συναρτήσει της περιόδου, λαμβάνοντας υπόψη την διαφοροποίηση διαφόρων παραμέτρων, όπως το πάχος του στρώματος, οι ταχύτητες διάδοσης των διατμητικών και διαμηκών κυμάτων, η ύπαρξη ομοιογενούς ή μεταβαλλόμενου προφίλ διατμητικών κυμάτων και η απόσβεση του εδάφους.

### 1.3 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας

Για την καλύτερη ανάλυση του αντικείμενου και κατανόηση των συμπερασμάτων στη διπλωματική εργασία κρίθηκε σκόπιμη η διάρθρωσή της στα επόμενα κεφάλαια.

Αρχικά, στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφονται γενικές έννοιες και βασικές γνώσεις στη θεωρία των σεισμικών κυμάτων από φυσικής σκοπιάς. Στόχος του κεφαλαίου είναι η σύντομη ανάπτυξη του θεωρητικού υποβάθρου, βάσει του οποίου εκπονείται η διπλωματική εργασία, ώστε ο αναγνώστης να προετοιμαστεί θεωρητικά για τα κεφάλαια που έπονται και να γίνει πιο εύληπτη η λογική δομή της εργασίας. Επίσης, περιγράφονται και αναλύονται συνοπτικά οι διάφορες μέθοδοι ανάλυσης της σεισμικής απόκρισης και γίνεται μια σύντομη αναφορά στο υπολογιστικό πρόγραμμα και στην αναλυτική μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη της σεισμικής απόκρισης.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις (παραμετρική ανάλυση). Προσδιορίζονται οι δυναμικές εδαφικές ιδιότητες στις οποίες βασίστηκε η ανάλυση, οι εδαφικές κατηγορίες, και τα χαρακτηριστικά των σεισμικών διεγέρσεων που μελετήθηκαν.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων μέσω διαγραμμάτων φασματικής επιτάχυνσης για κάθε κατηγορία εδάφους και για όλες τις εδαφικές συνθήκες.

Τέλος, στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα σε μορφή πινάκων προς άμεση εξαγωγή συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά του εδάφους συναρτήσει της διαφοράς των δυναμικών μεγεθών που προτείνουν οι δυο βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν. Ακολουθεί αναλυτικά η αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

---

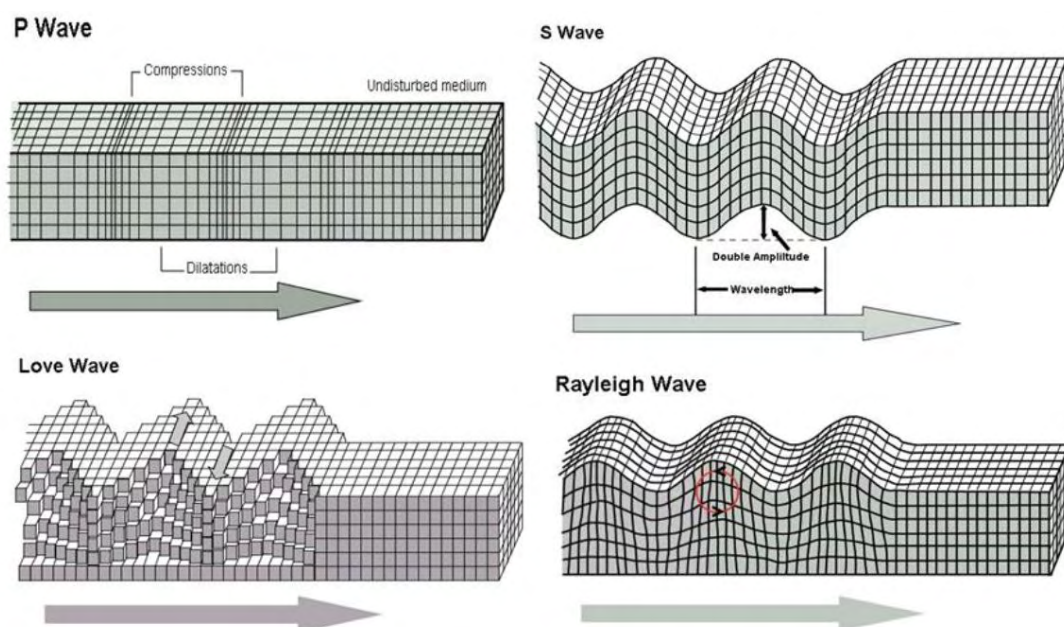
### 2.1 Βασικές έννοιες στη διάδοση των σεισμικών κυμάτων

Ο σχεδιασμός των τεχνικών έργων απαιτεί τον προσδιορισμό των εδαφικών συνθηκών κατά την επιβολή της σεισμικής διέγερσης. Η απότομη διάρρηξη του φλοιού της γης προκαλείται από συσσωρευμένες τάσεις που αναπτύσσονται εντός των γεωλογικών στρωμάτων, οι οποίες υπερβαίνουν την διατμητική αντοχή αυτών με ταυτόχρονη εκτόνωση της σεισμικής ενέργειας. Η σεισμική διέγερση στο βραχώδες υπόβαθρο, το οποίο αναγνωρίζεται και ως σεισμικό υπόβαθρο, διαδίδεται υπό μορφή κυμάτων. Τα σεισμικά κύματα λέγονται και κύματα χώρου, τα οποία διαδίδονται στις εδαφικές στρώσεις, ανακλώνται και διαθλώνται στις διεπιφάνειες των στρωμάτων δημιουργώντας εκ νέου κύματα χώρου αλλά και κύματα επιφάνειας.

Τα κύματα χώρου διακρίνονται σε πρωτεύοντα (Primary) P και δευτερεύοντα κύματα S (Secondary). Τα πρώτα είναι διαμήκη κύματα που ταξιδεύουν με τη μεγαλύτερη ταχύτητα (έως και 6 km/sec εντός του βραχώδους υποβάθρου) και γι' αυτό είναι τα πρώτα που καταγράφονται ενόργανα. Τα κύματα P, κατά αναλογία των ακουστικών κυμάτων, κατά την τελική άφιξη στην επιφάνεια διαδίδονται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση και γι' αυτό γίνονται αντιληπτά ως κίνηση πάνω-κάτω. Τα κύματα που έπονται των κυμάτων P είναι τα δευτερεύοντα κύματα S (Secondary). Τα κύματα S διαδίδονται μόνο στα στερεά σώματα καθώς επιβάλλουν μόνο διατμητικές τάσεις οι οποίες δεν παραλαμβάνονται από τα ρευστά. Ο λόγος που τα κύματα P προηγούνται των κυμάτων S είναι ότι η ταχύτητα με την οποία διαδίδονται τα κύματα χώρου εξαρτάται από τις φυσικομηχανικές ιδιότητες του εδάφους, του οποίου η αντίσταση σε συμπίεση είναι μεγαλύτερη από ότι σε διάτμηση.

Αντίστοιχα, τα επιφανειακά κύματα γεννώνται στις διεπιφάνειες των γεωλογικών στρώσεων και ιδιαίτερα στην επιφάνεια της γης κατά την άφιξη των κυμάτων χώρου δημιουργώντας δυο υποκατηγορίες επιφανειακών σεισμικών κυμάτων. Πρόκειται για τα κύματα Love και Rayleigh. Τα πρώτα προκαλούν οριζόντια ταλάντωση από την αλληλεπίδραση κυμάτων SH σε μαλακούς εδαφικούς σχηματισμούς με κύριο χαρακτηριστικό την άμεση μείωση του πλάτους της ταλάντωσης με αύξηση του βάθους, καθώς και την άμεση εξάρτησή τους από τη συχνότητα της διέγερσης. Σε αντίθεση με τα κύματα Love, τα κύματα Rayleigh προκαλούνται από τη σύνθεση κυμάτων P και SV, και ως εκ τούτου επιβάλλουν ταυτόχρονη ταλάντωση και στις δυο κατευθύνσεις. Ο τρόπος ταλάντωσής τους μοιάζει με τη μορφή των θαλάσσιων κυμάτων με κίνηση αντίστροφη της φοράς του ρολογιού. Τα επιφανειακά κύματα διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα από τα κύματα χώρου, ωστόσο είναι πιο καταστρεπτικά, ιδιαίτερα τα κύματα Love. (Σχήμα 1)

Η σημασία των σεισμικών κυμάτων για τον μηχανικό έγκειται στο ότι μεταφέρουν τη σεισμική ενέργεια, η οποία σε μια προσπάθεια έκφρασης και ποσοτικοποίησης της σε μετρήσιμο και αξιοποιήσιμο για τις μελέτες μέγεθος, περιγράφεται με όρους φασματικής επιτάχυνσης και τελικά, σεισμικών δράσεων (δυνάμεων) σχεδιασμού.



Σχήμα 1: Κατηγορίες σεισμικών κυμάτων

## 2.2 Σεισμικές Διεγέρσεις

Ένας σεισμός συντίθεται από άπειρους μικροσεισμούς που προκύπτουν από τη τοπική θραύση πετρωμάτων κατά μήκος μιας σύνθετης επιφάνειας ρήγματος. Εστία ή υπόκεντρο ενός σεισμού ορίζεται το σημείο από όπου θεωρητικά ξεκινά η αλυσιδωτή θραύση του ρήγματος. Η κάθετη προβολή του υποκέντρου στην επιφάνεια του εδάφους ονομάζεται επίκεντρο και η απόσταση μεταξύ τους ονομάζεται εστιακό ή υποκεντρικό βάθος.

Η σεισμική ένταση,  $I$ , ορίζεται ως ένα μακροσκοπικό μέτρο της σφοδρότητας και των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων των σεισμών στο φυσικό περιβάλλον, στους ανθρώπους και στις τεχνικές κατασκευές, ενώ το μέγεθος  $M$  ενός σεισμού είναι ένα μέτρο της ολικής ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού και διαδίδεται με τη μορφή σεισμικών κυμάτων. Η κλίμακα Richter μετρά τη μεγαλύτερη διαταραχή-κίνηση στην καταγραφή, αλλά υπάρχουν κι άλλες κλίμακες μεγέθους που μετρούν διαφορετικά μέρη του σεισμού. Μια αύξηση του μεγέθους κατά ένα (για παράδειγμα, από 4.6 σε 5.6) αναπαριστά μια δεκαπλάσια αύξηση στο πλάτος του κύματος σε ένα σειсмоγράφο ή περίπου μια αύξηση περίπου κατά 25 φορές της ελευθερούμενης ενέργειας. Με άλλα λόγια, ένας σεισμός μεγέθους 6.7 ελευθερώνει πάνω από 600 φορές (25 επί 25) την ενέργεια ενός σεισμού 4.7.

Τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση ενός σεισμού είναι τα παρακάτω:

- **$M_L$**  : Είναι το τοπικό μέγεθος (*Magnitude Local: τοπικό μέγεθος που παρουσιάστηκε από τον Charle Richter το 1935*). Η κλίμακα Richter είναι ένας μαθηματικός τύπος. Το μέγεθος ενός σεισμού καθορίζεται από το λογάριθμο του πλάτους των κυμάτων που καταγράφονται από τους σειсмоγράφους σε μια ορισμένη περίοδο. Το  $M_L$  είναι αξιόπιστο, όταν υπολογίζεται από σειсмоγράφους που δεν απέχουν περισσότερο από 600 χιλιόμετρα από το επίκεντρο του σεισμού. Ισχύει μόνο για ορισμένη συχνότητα σεισμικών κυμάτων και για ορισμένη απόσταση από το επίκεντρο. Έτσι, για διαφορετικές αποστάσεις από το επίκεντρο του σεισμού οι σεισμολόγοι βασίζονται σε διαφορετικά σεισμικά κύματα για τους υπολογισμούς τους.
- **$M_s$** : Είναι το μέγεθος που λαμβάνεται από τη μέτρηση των κυμάτων επιφανείας. Αυτή η κλίμακα επιφανειακού μεγέθους επινοήθηκε για τον υπολογισμό του μεγέθους επιφανειακών σεισμών ( $h < 60\text{km}$ ) ανεξαρτήτως επικεντρικής απόστασης. Να σημειώσουμε ότι το  $M_s$  είναι μεγαλύτερο από το  $M_L$ . Για παράδειγμα, αν το μέγεθος ενός σεισμού μετρήθηκε σαν 5 βαθμοί της κλίμακας Ρίχτερ ( $M_L$ ), μπορεί να μετρηθεί και ως 5.5  $M_s$ . Η ενέργεια που εκλύεται δίνεται σε έργιο (erg) από τον τύπο :  $\log E = 12,24 + 1,40 M_s$ . Στην Ελλάδα ο τύπος που συνδέει την ένταση  $I$  ενός σεισμού με το μέγεθος  $M_s$ , (α) για επιφανειακούς σεισμούς, είναι:  $I = 6.59 + 1.18 M_s - 4.5 \log(R+17)$  ενώ για σεισμούς ενδιάμεσου βάθους είναι ο τύπος:  $I = 1.87 + 1.69 M_s - 3.94 \log(R_1+30)$  όπου  $R$  η επικεντρική απόσταση και  $R_1$  η υποκεντρική απόσταση (σε km).
- **$M_B$** : Είναι μια επέκταση της κλίμακας Richter και έτσι εκμεταλλευόμαστε καλύτερα το δίκτυο των σειсмоγράφων. Είναι το μέγεθος που λαμβάνεται από τη μέτρηση των πρωτευόντων P κυμάτων (*Compressional Body Wave Magnitude*). Είναι αξιόπιστο μέγεθος σεισμών με μεγαλύτερα εστιακά βάθη και για μεγάλες αποστάσεις από το επίκεντρο.
- **$M_w$** : Όλα τα προηγούμενα μεγέθη βγαίνουν από τύπους που περιέχουν ένα συγκεκριμένο πλάτος ταλάντωσης ενός σεισμικού κύματος σε κάποια χρονική στιγμή. Το  $M_w$ , το οποίο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μεγάλων σεισμών, υπολογίζεται από ένα πολύπλοκο τύπο και είναι πολύ αξιόπιστο.
- **$M_d$** : Είναι η κλίμακα μεγέθους διάρκειας.
- **$M_o$** : Η κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής, που θεωρείται η πιο ακριβής. Προτάθηκε το 1979 και δεν εξαρτάται από την περίοδο των σεισμικών κυμάτων αλλά στη μέτρηση της σεισμικής ροπής.
- **$M_e$** : (*Choy and Boatwright 1995*), το οποίο εκφράζει το δυναμικό καταστροφικότητας ενός σεισμού και χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση εκλυόμενης σεισμικής ενέργειας μεγάλων συμβάντων.



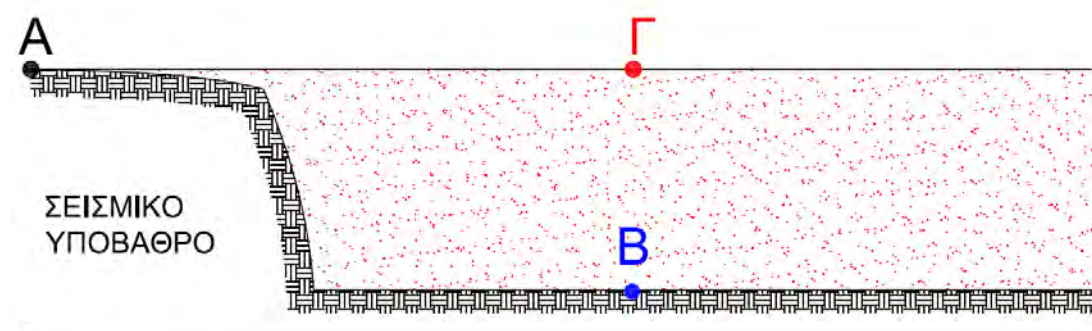
Στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα ιστορικά στοιχεία δύο σεισμών:

- Του σεισμού Taft, ο οποίος έλαβε χώρα στις ΗΠΑ την 21-07-1952 και έχει μέγεθος  $M_s=7.7$  με N-A συνιστώσα και μέγιστη επιτάχυνση  $a_{\max}=0.189g$
- Του σεισμού Tabas, ο οποίος καταγράφηκε στο Ιράν την 16-09-1978 με  $M_s=7.3$ , B-N συνιστώσα και μέγιστη επιτάχυνση  $a_{\max}=0.874g$

Και οι δύο σεισμοί θεωρούνται ισχυροί ( $M_s=7.3-7.7$ ) και μεγάλης διάρκειας αλλά ο σεισμός του Taft είναι δυνατός και μακρινός ενώ ο σεισμός Tabas είναι πολύ δυνατός και κοντινός.

## 2.3 Μέθοδοι Ανάλυσης Σεισμικής Απόκρισης

Σε μια προσπάθεια ποσοτικοποίησης της σεισμικής απόκρισης του εδάφους και της εδαφικής ενίσχυσης της σεισμικής κίνησης, η επίδραση του εδάφους εκφράζεται ως ο λόγος (ή το φάσμα) μεταφοράς της σεισμικής κίνησης, από το σεισμικό υπόβαθρο στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους. (Σχήμα 2)



Η επίδραση του εδάφους εκφράζεται ως ο λόγος μεταφοράς της σεισμικής κίνησης από το υπόβαθρο στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους, δηλαδή:

$$\frac{\text{Κίνηση στο σημείο } \Gamma}{\text{Κίνηση στο σημείο } B} \quad \text{ή} \quad \frac{\text{Κίνηση στο σημείο } \Gamma}{\text{Κίνηση στο σημείο } A}$$

Σχήμα 2: Ορισμός και απεικόνιση του φάσματος (λόγου) μεταφοράς σεισμικής κίνησης

Για τον προσδιορισμό της εδαφικής απόκρισης μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε αναλυτικές μέθοδοι που θεωρούν δεδομένη την ταλάντωση του εδάφους με αρμονική κίνηση και το έδαφος ελαστικό και ομοιόμορφο, είτε εμπειρικές μέθοδοι που προκύπτουν από γεωλογικά και σεισμολογικά δεδομένα, είτε αριθμητικές



μέθοδοι με τη βοήθεια υπολογιστικών γεωτεχνικών προγραμμάτων, όπως των EERA, SHAKE και DESRA.

Στην παρούσα εργασία, η μελέτη της σεισμικής απόκρισης των εδαφικών σχηματισμών υπολογίστηκε αναλυτικά υποθέτοντας ότι τα σεισμικά κύματα έχουν τη μορφή οριζόντια πολωμένων κυμάτων, τα οποία μεταδίδονται κατακόρυφα από το σεισμικό υπόβαθρο στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους. Με αυτήν την παραδοχή, το πρόβλημα της σεισμικής απόκρισης του εδαφικού προφίλ ανάγεται στο απλούστερο πρόβλημα της μονοδιάστατης διάδοσης διατμητικών κυμάτων σε οριζόντια στρωματοποιημένο έδαφος. Για την εκπόνηση των αναλύσεων χρησιμοποιήθηκε το γεωτεχνικό πρόγραμμα EERA σε μονοδιάστατη προσομοίωση του εδάφους (1-D εδαφικές τομές) και κατακόρυφη διάδοση κυμάτων SH από το βραχώδες υπόβαθρο στην επιφάνεια. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα αναλύσεων μόνο σε όρους ολικών τάσεων.

Γενικότερα, όπως είναι αναμενόμενο, όσο πιο περίπλοκη είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται, χωρίς απλοποιήσεις στις παραδοχές που μετέρχεται για την εκτέλεσή της, τόσο πιο αξιόπιστη είναι αλλά και τόσο πιο υψηλό το κόστος της. Έτσι, πιο αξιόπιστα αποτελέσματα προκύπτουν από τις αριθμητικές μεθόδους, ακολουθούν οι εμπειρικές που λαμβάνουν υπόψη τις εκάστοτε εδαφικές συνθήκες και λιγότερο αξιόπιστες αναδεικνύονται οι αναλυτικές μέθοδοι που βασίζονται σε ιδανικές συνθήκες αρμονικής κίνησης και ελαστικότητας του εδάφους.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούμε σύντομα αλλά ουσιαστικά σε όλες τις παραπάνω μεθόδους για την αξιοποίηση των γνώσεων από τη θεωρία της διάδοσης των κυμάτων στην πρακτική εφαρμογή των μεθόδων σε μετρήσιμα πλέον μεγέθη, προς χρήση τους στις τεχνικές μελέτες.

### 2.3.1 Αναλυτικές Μέθοδοι

Οι αναλυτικές μέθοδοι διαχωρίζονται σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του εδάφους επί του αντίστοιχου υπόβαθρου για την εύρεση της σεισμικής απόκρισης. Ενδεικτικά, τα είδη των αναλυτικών μεθόδων αναφέρονται ονομαστικά παρακάτω:

1. Ομοιόμορφο ελαστικό έδαφος επί άκαμπτου υποβάθρου
2. Ομοιόμορφο ιξωδοελαστικό έδαφος επί άκαμπτου υποβάθρου
3. Ομοιόμορφο ιξωδοελαστικό έδαφος επί εύκαμπτου υποβάθρου
4. Ανομοιόμορφο ιξωδοελαστικό έδαφος επί εύκαμπτου υποβάθρου

### 2.3.2 Εμπειρικές Μέθοδοι

Οι εμπειρικές μέθοδοι προκύπτουν από την ανάλυση βλαβών παλαιότερων σεισμικών καταγραφών και επιχειρούν να προσδιορίσουν τη σεισμική απόκριση σε συσχετισμό με τη μορφολογία του εδάφους, την ποιότητα του εδάφους και γενικά, στοιχεία της επιφανειακής γεωλογίας. Εναλλακτικά, χρησιμοποιούνται οι σχέσεις εξασθένησης των αρχικών επιταχύνσεων και ταχυτήτων (π.χ. Sabetta & Pugliese, 1987) με τις οποίες διαδίδονται τα σεισμικά κύματα όπως και με την αρχική ταχύτητα γένεσης των κυμάτων στο σεισμικό υπόβαθρο ( $C_s$ ). Οι εμπειρικές σχέσεις που προκύπτουν από τις παραπάνω εκτιμήσεις για την εδαφική ενίσχυση της σεισμικής κίνησης δεν είναι αρκετά αξιόπιστες για εφαρμογή στις τεχνικές μελέτες. Αποδεκτή μέθοδος ως προς την αξιοπιστία της για εφαρμογή από τους μηχανικούς στις τεχνικές μελέτες, είναι ο σχεδιασμός βάσει των αντισεισμικών κανονισμών και η χρήση διαπιστευμένων εμπειρικών σχέσεων.

### 2.3.3 Αριθμητικές Μέθοδοι

Οι αριθμητικές μέθοδοι αποτελούν τις πλέον αξιόπιστες μεθόδους για τη μελέτη της σεισμικής απόκρισης σε εδαφικούς σχηματισμούς. Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην αξιοπιστία των αριθμητικών μεθόδων συνίστανται στο ότι οι εν λόγω μέθοδοι λαμβάνουν υπόψη την ανομοιομορφία του εδάφους, την μη αρμονική μορφή της σεισμικής διέγερσης καθώς και τη μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους υπό δυναμικές (σεισμικές) φορτίσεις. Δηλαδή οι συνθήκες που εισάγονται ως δεδομένα στο πρόβλημα είναι ρεαλιστικές και όχι ιδανικές, περιγράφοντάς το κατάλληλα και δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι αριθμητικές μέθοδοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

1. Ισοδύναμες γραμμικές αναλύσεις (Frequency Domain Analyses)
2. Μη γραμμικές αναλύσεις (Time Domain Analyses)

#### 2.3.3.1 Ισοδύναμη Γραμμική Ανάλυση

Η ισοδύναμη γραμμική ανάλυση γνωστή και ως ανάλυση κατά συχνότητα (complex response method in the frequency domain) ή ανάλυση τύπου SHAKE, μελετά τη σεισμική απόκριση του εδάφους είτε στην ελεύθερη επιφάνεια είτε στην διεπιφάνεια των στρώσεων που είναι συνέπεια της σεισμικής διέγερσης στο βραχώδες υπόβαθρο. Τα απαιτούμενα δεδομένα για την επίλυση του προβλήματος περιλαμβάνουν:

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

1. Την διακύμανση της επιτάχυνσης του εδάφους εξαιτίας της σεισμικής διέγερσης στο πεδίο του χρόνου (χρονοϊστορία της επιτάχυνσης)
2. Το ελαστικό μέτρο διάτμησης  $G_{0,b}$ , την πυκνότητα μάζας  $\rho_b$  του σεισμικού υποβάθρου και την ταχύτητα του σεισμικού κύματος κατά τη γένεσή του στο σεισμικό υπόβαθρο.
3. Το βάθος από την ελεύθερη επιφάνεια και το πάχος κάθε εδαφικής στρώσης  $i$
4. Το ελαστικό μέτρο διάτμησης  $G_{0,i}$  και τη πυκνότητα μάζας  $\rho_i$  κάθε στρώσης
5. Το προφίλ της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων που διαδίδονται στις εδαφικές στρώσεις, το οποίο αυξάνεται γραμμικά με το βάθος από την ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους
6. Τις καμπύλες μεταβολής του μέτρου διάτμησης και του λόγου υστερητικής απόσβεσης με το εύρος της επιβαλλόμενης διατμητικής παραμόρφωσης ( $G/G_{\max}-\gamma$  και  $DT/DT_{\max}-\gamma$ )

Ο σεισμός προκαλεί ανακυκλική φόρτιση η οποία οδηγεί σε απομείωση της διατμητικής δυστημσίας ( $G < G_0$ ) και απώλεια ενέργειας. Οι ερευνητές Vucetic & Dobry (1991) δημιούργησαν καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης σε μια προσπάθεια προσομοίωσης της μη-γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους σε εδάφη με διαφορετικές πλαστικότητες χρησιμοποιώντας δεδομένα που προέκυψαν από πειραματικές μετρήσεις (Σχήμα 4). Όμοια, ο Ishibashi (1992) πρότεινε καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης και αύξησης του λόγου απόσβεσης με την παραμόρφωση, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της τάσης στερεοποίησης σε μη συνεκτικά εδάφη.

Η μέθοδος της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης στηρίζεται στην αναλυτική λύση για ανομοιόμορφο ιξωδοελαστικό έδαφος επί εύκαμπτου βράχου. Από τη δυναμική οι σχέσεις που προσδιορίζουν την απόκριση του εδάφους όπως και αυτές των διατμητικών τάσεων στο στρώμα  $m$ :

$$u_m = (A_m e^{ik_m^* z_m} + B_m e^{-ik_m^* z_m}) e^{i\omega t} \quad (1)$$

$$\tau_m = G_m^* \frac{\partial u_m}{\partial z_m} = iG_m^* k_m^* (A_m e^{ik_m^* z_m} - B_m e^{-ik_m^* z_m}) e^{i\omega t} \quad (2)$$

Για  $z_m = 0$ :

$$(1) \Rightarrow u_{m,0} = (A_m + B_m) e^{i\omega t} \quad (3)$$

$$(2) \Rightarrow \tau_{m,0} = iG_m^* k_m^* (A_m - B_m) e^{i\omega t} \quad (4)$$

Για  $z_m = h_m$ :

$$(1) \Rightarrow u_{m,h} = (A_m e^{ik_m^* h_m} + B_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (5)$$

$$(2) \Rightarrow \tau_{m,h} = iG_m^* k_m^* (A_m e^{ik_m^* z_m} - B_m e^{-ik_m^* z_m}) e^{i\omega t} \quad (6)$$

Συνοριακές συνθήκες στην ελεύθερη επιφάνεια:

$$\tau_{1,0} = 0 \quad (7)$$

$$(4), (7) \Rightarrow A_1 = B_1 \quad (8)$$

$$(3), (8) \Rightarrow u_1 = 2A_1 \cos k_1^* z_1 e^{i\omega t} \quad (9)$$

$$(4), (8) \Rightarrow \tau_1 = 2A_1 (iG_1^* k_1^*) \sin k_1^* z_1 e^{i\omega t} \quad (10)$$

Συνοριακές συνθήκες μεταξύ στρωμάτων:

$$u_{m+1,0} = u_{m,h_m} \Rightarrow A_{m+1} + B_{m+1} = A_m e^{ik_m^* h_m} + B_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (11)$$

$$\tau_{m+1,0} = \tau_{m,h_m} \Rightarrow$$

$$A_{m+1} - B_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (A_m e^{ik_m^* h_m} + B_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (12)$$

Τελικά, από το σύστημα των εξισώσεων (11) και (12) προκύπτει ότι:

$$A_{m+1} = \frac{1}{2} A_m (1 + a_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 - a_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

$$B_{m+1} = \frac{1}{2} A_m (1 - a_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 + a_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (14)$$

$$\text{όπου } a_m^* = \frac{\rho_m V_m^*}{\rho_{m+1} V_{m+1}^*}$$

Σταδιακή εφαρμογή από την ελεύθερη επιφάνεια ( $i = 1$ ) προς τα κάτω ( $i = m$ )

- Για  $i = 1$ :

$$A_2 = \frac{1}{2} A_1 (1 + a_1^*) e^{ik_1^* h_1} + \frac{1}{2} A_1 (1 - a_1^*) e^{-ik_1^* h_1} = A_1 (\cos k_1^* h_1 + i a_1^* \sin k_1^* h_1)$$

$$B_2 = \frac{1}{2} A_1 (1 + a_1^*) e^{ik_1^* h_1} + \frac{1}{2} A_1 (1 - a_1^*) e^{-ik_1^* h_1} = A_1 (\cos k_1^* h_1 + i a_1^* \sin k_1^* h_1)$$

ή συνοπτικά:

$$A_2 = \alpha_1(k_1^* h_1) A_1$$

$$B_2 = \beta_1(k_1^* h_1) A_1$$

Όμοια προκύπτει:

- Για  $i = 2$ :

$$A_2 = \alpha_1(k_1^* h_1, k_2^* h_2) A_1$$

$$B_2 = \beta_1(k_1^* h_1, k_2^* h_2) A_1$$

- Για  $i = m$ :

$$A_m = A_1 a_{m-1}(k_1^* h_1, k_2^* h_2, \dots, k_m^* h_m) \quad (15)$$

$$B_m = A_1 \beta_{m-1}(k_1^* h_1, k_2^* h_2, \dots, k_m^* h_m) \quad (16)$$

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

Η μεθοδολογία επίλυσης των ισοδύναμων γραμμικών αριθμητικών μεθόδων συνοψίζεται στα παρακάτω βήματα:

**Βήμα 1<sup>ο</sup>:**

Η σεισμική διέγερση αναλύεται σε άθροισμα αρμονικών συνιστωσών σύμφωνα με το μετασχηματισμό Fourier.

**Βήμα 2<sup>ο</sup>:**

Πριν ξεκινήσει η παρακάτω επαναληπτική διαδικασία για τον προσδιορισμό των τιμών του διατμητικού μέτρου  $G$  και του λόγου υστερητικής απόσβεσης  $DT$  θέτονται οι αρχικές τιμές στα παραπάνω δυναμικά μεγέθη, δηλαδή  $G_1=G_{0,1}$  και  $DT_1=DT_0$ .

Έναρξη επαναληπτικής διαδικασίας έως ότου τα δυναμικά μεγέθη προς προσδιορισμό συγκλίνουν σε μια τιμή

**Βήμα 3<sup>ο</sup>:**

Γίνεται εκτίμηση των συναρτήσεων μεταφοράς  $F_{i,j}$  για όλα τα στρώματα εδάφους και όλες τις αρμονικές συνιστώσες της διέγερσης.

**Βήμα 4<sup>ο</sup>:**

Γίνεται εκτίμηση της αρμονικής απόκρισης του εδάφους για κάθε αρμονική συνιστώσα της διέγερσης που έχει προσδιοριστεί στο προηγούμενο βήμα.

**Βήμα 5<sup>ο</sup>:**

Εφαρμόζεται αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier ώστε από τις αρμονικές συνιστώσες της απόκρισης του εδάφους που έχουν ήδη υπολογιστεί να προκύψει η συνισταμένη απόκριση του εδάφους.

**Βήμα 6<sup>ο</sup>:**

Γίνεται εκτίμηση της μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης  $\gamma_{\max}$  στο μέσον κάθε στρώσης του εδάφους.

**Βήμα 7<sup>ο</sup>:**

Προσδιορίζονται οι τιμές των μέτρων διάτμησης  $G$  και του λόγου υστερητικής απόσβεσης  $DT$  ώστε να είναι αντίστοιχες των 2/3 της μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης που προσδιορίστηκε στο 6<sup>ο</sup> βήμα.

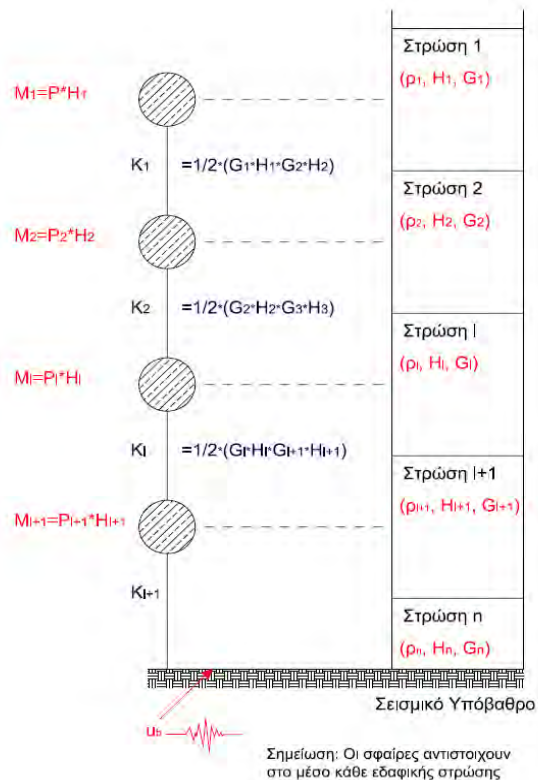
### 2.3.3.2 Μη Γραμμική Ανάλυση

Η μη γραμμική ανάλυση, ή αλλιώς ανάλυση με χρονική ολοκλήρωση (time domain analysis) χαρακτηρίζεται από τη χρήση των σχέσεων διατμητικών τάσεων και παραμόρφωσης ( $\tau$ - $\gamma$ ) για μονοτονική και ανακυκλική φόρτιση (φόρτιση,

αποφόρτιση και επαναφόρτιση) προκειμένου να προσδιοριστεί η εδαφική απόκριση. Τα βασικά δεδομένα για την εύρεση της απόκρισης ενός εδαφικού προφίλ με τη μη γραμμική ανάλυση περιλαμβάνουν:

1. Την χρονοϊστορία της επιτάχυνσης της σεισμικής διέγερσης
2. Το ελαστικό μέτρο διάτμησης  $G_{0,b}$  και την πυκνότητα μάζας  $\rho_b$  του σεισμικού υποβάθρου
3. Το βάθος και το πάχος κάθε εδαφικής στρώσης  $i$
4. Το αντίστοιχο ελαστικό μέτρο διάτμησης  $G_{0,i}$  και την πυκνότητα μάζας  $\rho_i$
5. Τις σχέσεις διατμητικής τάσης και διατμητικής παραμόρφωσης για μονοτονική και ανακυκλική φόρτιση.

Για τον προσδιορισμό της απόκρισης του εδάφους το εδαφικό προφίλ μοντελοποιείται από σύστημα συγκεντρωμένων μαζών και ιξωδοελαστικών ελατηρίων (Σχήμα 3).



Σχήμα 3: Μοντελοποίηση εδάφους σε ισοδύναμο σύστημα ελατηρίων

Από ισορροπία των δυνάμεων προκύπτει διαφορική εξίσωση:

$$M\ddot{U} + KU = -M\ddot{U}_b$$

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

Όπου  $u_b$  είναι η μετατόπιση του βραχώδους υποβάθρου λόγω της σεισμικής διέγερσης

$$\text{μητρώο μάζας } M = \begin{bmatrix} M_1 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & M_n \end{bmatrix}$$

$$\text{και μητρώο εδαφικής δυσκαμψίας } K = \begin{bmatrix} K_1 & -K_1 & 0 & \\ -K_1 & K_1 + K_2 & -K_2 & \dots \\ 0 & -K_2 & K_2 + K_3 & \end{bmatrix}$$

Δεδομένου ότι το μέτρο διάτμησης είναι συνάρτηση των διατμητικών τάσεων και παραμορφώσεων ( $G=f(\tau, \gamma)$ ) και το μέτρο δυσκαμψίας  $K$  είναι συνάρτηση της μετατόπισης ( $K=f(U)$ ), προκύπτει ότι η παραπάνω διαφορική εξίσωση είναι μη γραμμική και για την επίλυσή της θα πρέπει να οριστούν μικρά χρονικά βήματα για κάθε επανάληψη ώστε να εξασφαλίζεται η σύγκλιση και κατ' επέκταση ο τερματισμός της επαναληπτικής διαδικασίας.

Εν κατακλείδι, η επίλυση της παραπάνω διαφορικής εξίσωσης γίνεται με «εν χρόνως» ολοκλήρωση, για δεδομένες αρχικές συνθήκες και δεδομένη χρονική μεταβολή της διέγερσης (μετατόπιση) στη βάση  $U_b$ . Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται κυρίως από τη σχέση  $\tau$ - $\gamma$  που έχει υιοθετηθεί και όχι από τον αλγόριθμο επίλυσης που έχει επιλεγεί, για αυτό πρέπει η σχέση διατμητικών τάσεων-παραμορφώσεων να είναι αντιπροσωπευτική της δυναμικής απόκρισης των διάφορων εδαφικών στρώσεων.

## 2.4 Υπολογιστικό Πρόγραμμα EERA

Το υπολογιστικό πρόγραμμα EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses) αναπτύχθηκε το 1988 από τους Barget, Ichii και Lin στο πανεπιστήμιο της Νότιας Καλιφόρνια. Ο αλγόριθμός του σχεδιάστηκε βάσει της θεωρίας της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης και έχει ως σκοπό τη μελέτη της σεισμικής απόκρισης των εδαφικών σχηματισμών με πλεονέκτημα την εύχρηστη συμπλήρωση και εξαγωγή δεδομένων με χρήση των υπολογιστικών φύλλων του Excel, με την απλή ενεργοποίηση της ομώνυμης μακροεντολής. Θεωρεί τη μονοδιάστατη προσομοίωση του εδάφους και κατακόρυφη διάδοση SH κυμάτων από το βραχώδες υπόβαθρο στην επιφάνεια του εδάφους. Η ανάλυση γίνεται με όρους ολικών τάσεων, χωρίς δηλαδή να λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή της πίεσης του νερού των πόρων. Όπως προβλέπεται από τη μεθοδολογία της

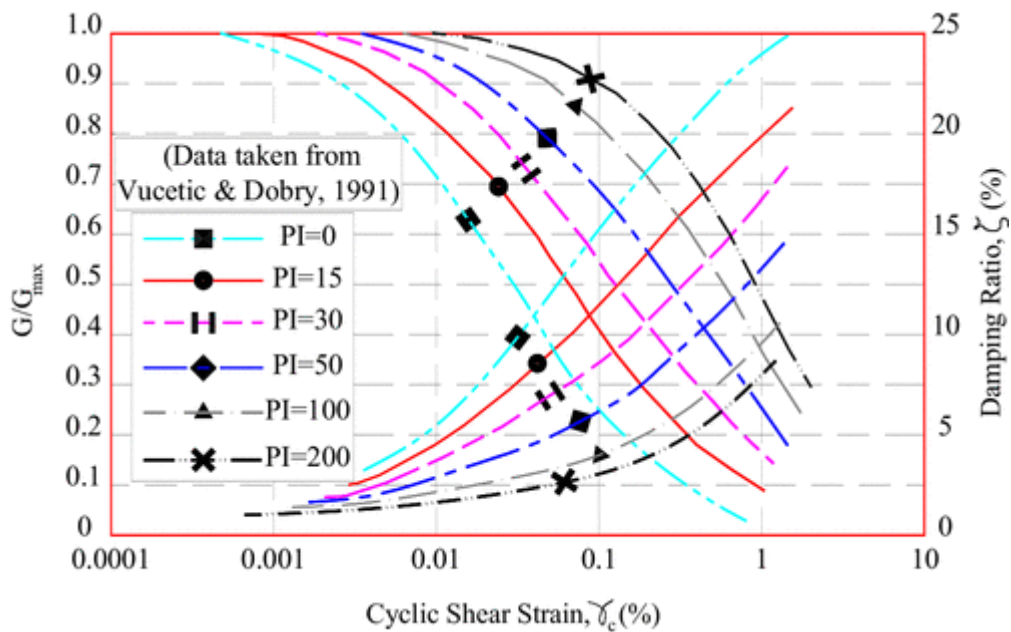
ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης, προσδιορίζονται οι δυναμικές ιδιότητες του εδάφους ( $V_s$ ,  $G/G_{max}$ - $\gamma$ ,  $DT(\%)$ - $\gamma$ ) που είναι γνωστές από επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές ή βιβλιογραφικές πηγές. Οι τιμές της ταχύτητας  $V_s$ , που στην πράξη εκτιμώνται βάσει μετρήσεων, είτε θεωρούνται σταθερές είτε ότι αυξάνονται με το βάθος.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### 3.1 Καμπύλες μεταβολής του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης με τη διατμητική παραμόρφωση

#### 3.1.1 Προτεινόμενες καμπύλες βιβλιογραφίας από τους Vucetic & Dobry (1991)

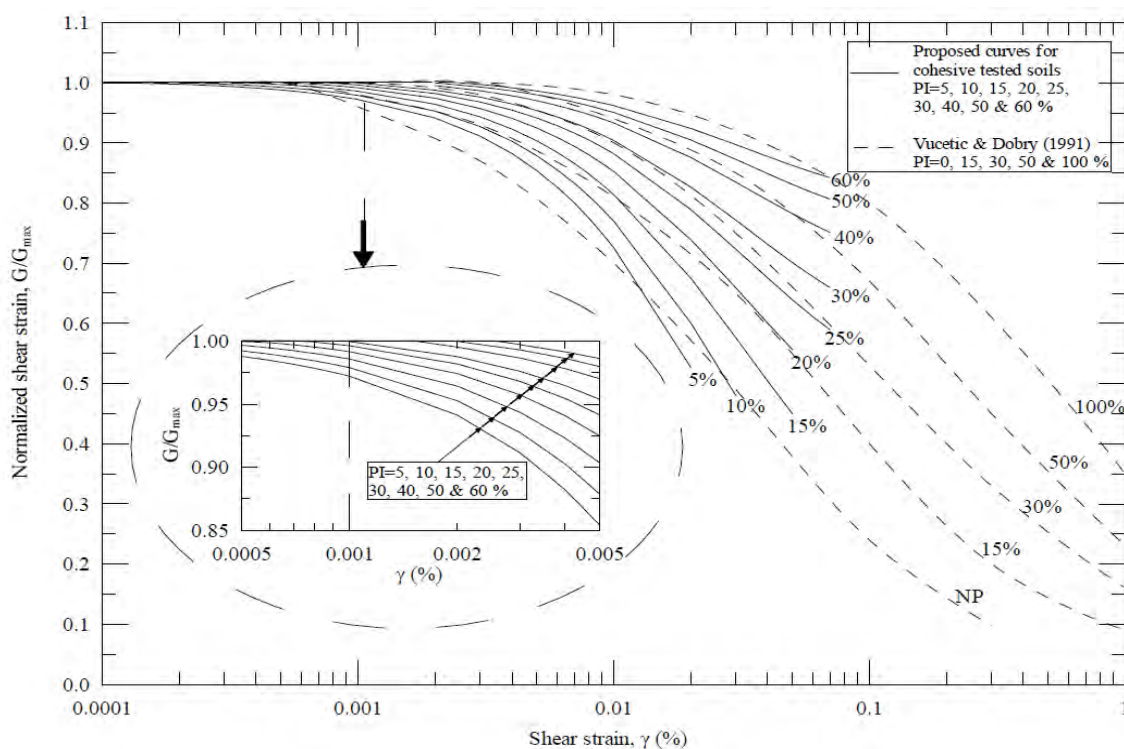


Σχήμα 4: Καμπύλες απομείωσης μέτρου διάτμησης και αύξησης του λόγου απόσβεσης με τη διατμητική παραμόρφωση για εδάφη με διαφορετικές πλαστικότητες, που πρότειναν οι Vucetic & Dobry (1991)

Οι Vucetic & Dobry (1991) χρησιμοποίησαν δημοσιευμένα αποτελέσματα άλλων ερευνητών από τη διεθνή βιβλιογραφία, που προέρχονταν από τριαξονικές δοκιμές ανακυκλικής φόρτισης, ανακυκλικής απλής διάτμησης και στήλης συντονισμού και πρότειναν τις καμπύλες του Σχήμα 4. Όπως προκύπτει από το Σχήμα 4, η πλαστικότητα του εδάφους,  $PI$ , είναι η καθοριστική παράμετρος για τον ρυθμό απομείωσης του μέτρου διάτμησης  $G$  και την αύξηση του λόγου απόσβεσης  $DT$  με τη διατμητική παραμόρφωση  $\gamma$ . Όσο μεγαλύτερη είναι η πλαστικότητα του εδάφους, τόσο μεγαλύτερη γραμμικότητα στη συμπεριφορά του αυτό παρουσιάζει.

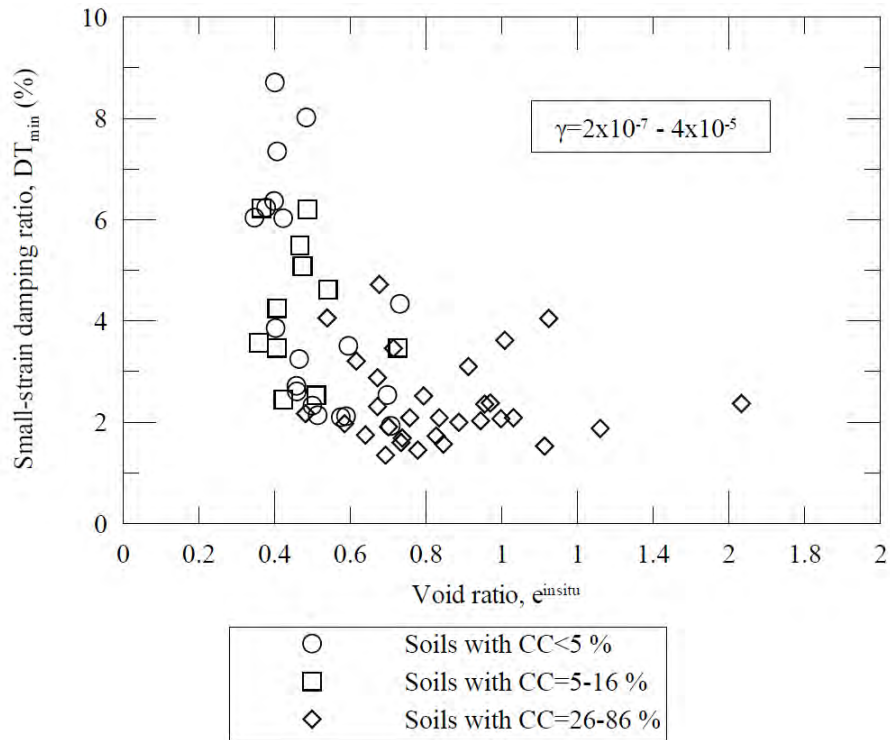
### 3.1.2 Προτεινόμενες καμπύλες από τους Kalliloglou et al. (2008)

Οι Καλλιόγλου (2003) και Kalliloglou et al. (2008), πρότειναν τις καμπύλες του Σχήμα 6 για την απομείωση του μέτρου διάτμησης με τη διατμητική παραμόρφωση. Μελετώντας τις δυναμικές ιδιότητες φυσικών εδαφών από την Ελλάδα και την Κύπρο, στη συσκευή στήλης συντονισμού (RC) επιβεβαίωσαν ότι η πλαστικότητα,  $PI$ , είναι η βασικότερη παράμετρος που καθορίζει τη θέση της καμπύλης  $G/G_{max}$ - $\gamma$ . Ωστόσο, οι προτεινόμενες καμπύλες για πλαστικότητες έως  $PI=15\%$  συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες των Vucetic & Dobry (1991) παρουσιάζουν αρχικά μικρότερη απομείωση και στη συνέχεια εντονότερη (για παραμορφώσεις από  $0.01\%$  έως  $0.1\%$ ), ενώ για εδάφη πλαστικότητας μεγαλύτερης από  $30\%$ , οι καμπύλες παρουσιάζουν μικρότερη απομείωση (για παραμορφώσεις έως περίπου  $0.07\%$ ). Επίσης, σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα, τόσο το  $DT_{min}$  όσο και η σχέση  $DT$ - $\gamma$ , παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από τις προτεινόμενες τιμές των Vucetic & Dobry (1991). Αξίζει να σημειωθεί η παρατήρηση τους για την τιμή του  $DT_{min}$  η οποία σχετίζεται περισσότερο με τον δείκτη πόρων του εδάφους στο πεδίο, παρά με το  $PI$  και ότι η διαφορά του  $DT$  από το  $DT_{min}$  σε δεδομένη παραμόρφωση συναρτάται με το  $G/G_{max}$ , Σχήμα 6 και Σχήμα 7 αντίστοιχα.

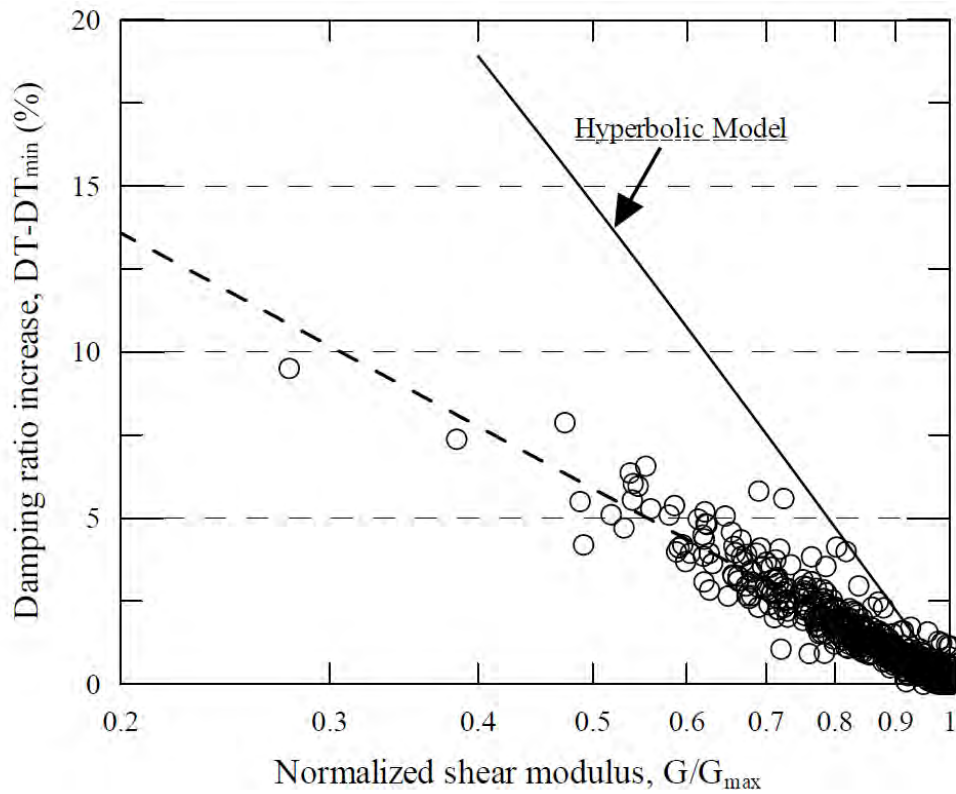


Σχήμα 5: Προτεινόμενες καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης  $G/G_{max}$  με τη διατμητική παραμόρφωση για κανονικά στερεοποιημένα και υπερστερεοποιημένα εδάφη με διαφορετικές πλαστικότητες (Kalliloglou et al., 2008)

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



Σχήμα 6: Μεταβολή του ελάχιστου λόγου απόσβεσης  $DT_{min}$  με το δείκτη πόρων στην τάση πεδίου,  $e^{insitu}$ , για φυσικά αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα με διάφορα ποσοστά ανθρακικών συστατικών,  $CC$  (Kalligiou et al., 2008)



Σχήμα 7: Μεταβολή της αύξησης του λόγου απόσβεσης,  $DT-DT_{min}$ , με το κανονικοποιημένο μέτρο διάτμησης  $G/G_{max}$ , στην τάση πεδίου (Kalligiou et al., 2008)

## 3.2 Κατηγορίες Εδάφους

### 3.2.1 Κατηγορίες Εδάφους EC8 συναρτήσει $V_{s,30}$ και PI

Η σεισμική απόκριση εξαρτάται όχι μόνο από τη θέση του έργου αλλά και από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες. Για το σκοπό αυτό, ο Ευρωκώδικας EC8 κατηγοριοποιεί το έδαφος σε πέντε βασικές κατηγορίες, τις A, B, C, D, E και σε δύο ειδικές τις S1 και S2. Η βασική παράμετρος για την κατάταξη σε μια κατηγορία είναι η μέση τιμή της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων στα ανώτατα 30m από την επιφάνεια,  $V_{s,30}$ :

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}}$$

Όπου  $h_i$  και  $v_i$  είναι το πάχος (σε m) και η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (σε διατμητική παραμόρφωση  $10^{-5}$  ή μικρότερη) του σχηματισμού ή του στρώματος  $i$  από τα  $N$  συνολικά. Αν δεν είναι διαθέσιμη η τιμή της  $V_{s,30}$ , μπορεί να χρησιμοποιείται για την κατάταξη σε κατηγορία ο αριθμός κρούσεων/0.3m στην Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης,  $N_{SPT}$ . Αν ούτε αυτός είναι διαθέσιμος, μπορεί να χρησιμοποιείται η αστράγγιστη αντοχή  $c_u$ . Στην παρούσα εργασία η ταξινόμηση του εδάφους ανά κατηγορία EC8 έγινε με την τιμή της  $V_{s,30}$ . Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τις κατηγορίες εδάφους όπως ορίζονται από τον EC8.

Πίνακας 1: Κατηγορίες εδάφους όπως ορίζονται από τον EC8

		$V_{s,30}(m/s)$	$N_{SPT}$	$c_u(kPa)$
A	Βράχος με έως 5m ασθενέστερο επιφανειακό υλικό	>800		
B	Πολύ πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή πολύ σκληρή άργιλος, δεκάδων m με αύξηση μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος	360-800	>50	>250
C	Πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή σκληρή άργιλος, αρκετών δεκάδων ή εκατοντάδων μέτρων	180-360	15-50	70-250
D	Χαλαρή έως μετρίως χαλαρή άμμος ή αμμοχάλικο ή μαλακή έως μετρίως σκληρή άργιλος	<180	<15	<70
E	Επιφανειακό στρώμα C ή D πάχους 5 έως 20m και υπόστρωμα με $V_s > 800m/s$			
S1	Πάχος στρώματος $\geq 10m$ από μαλακή άργιλο/ίλυ με δείκτη πλαστικότητας $PI > 40$ και υψηλή περιεκτικότητα νερού	<100		10-20
S2	Ευαίσθητη άργιλος, εδάφη ρευστοποιήσιμα ή εκτός A-E ή S1			

### 3.2.2 Προσδιορισμός των μελετηθέντων εδαφικών κατηγοριών

Η συμπεριφορά του εδάφους που υποβάλλεται σε δυναμική φόρτιση εξαρτάται τόσο από τα δυναμικά χαρακτηριστικά όσο και από το μέγεθος της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης. Από παλαιότερες σεισμικές καταγραφές, παρατηρείται συχνά ενίσχυση της σεισμικής κίνησης ανάλογα την ποιότητα του εδάφους. Για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί ότι για τον ίδιο σεισμό οι αλλουβιακές αποθέσεις έχουν μεγαλύτερη εδαφική απόκριση από ό,τι οι βραχώδεις σχηματισμοί. Πολλές φορές η ενίσχυση της σεισμικής κίνησης είναι μικρότερη από την εκτιμώμενη βάσει της ελαστικής θεωρίας. Για μικρές παραμορφώσεις το έδαφος συμπεριφέρεται γραμμικά και ελαστικά, ενώ για μεγαλύτερες συμπεριφέρεται μη γραμμικά με έντονα υστερητικά χαρακτηριστικά. Κατά τη διάρκεια μιας ισχυρής σεισμικής κίνησης το έδαφος υποβάλλεται σε μεταβαλλόμενου πλάτους διατμητικές παραμορφώσεις, οι οποίες προοδευτικά έχουν ως αποτέλεσμα τη σταδιακή μεταβολή των τιμών των δυναμικών παραμέτρων που περιγράφουν τη δυσστησία του εδάφους (μέτρο διάτμησης  $G$ , λόγος απόσβεσης  $DT(\%)$ , δείκτης Poisson  $\nu$ ). Συγκεκριμένα, στα κορεσμένα εδάφη με την αύξηση του πλάτους της διατμητικής παραμόρφωσης παρατηρείται σταδιακή μείωση του μέτρου διάτμησης και ταυτόχρονη αύξηση της απόσβεσης υλικού. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ερευνώνται και συγκρίνονται η σεισμική απόκριση σε εδάφη μέσης και υψηλής πλαστικότητας και συγκεκριμένα για πλαστικότητες  $PI=27\%$  και  $PI=66\%$  αντίστοιχα, σε εδαφική στρώση με πάχος που κυμαίνεται από 5m έως 60m (Σχήμα 10). Το μέγιστο μέτρο διάτμησης  $G_{max}$  θεωρήθηκε είτε σταθερό είτε ότι αυξάνεται γραμμικά με το βάθος και επιλέχθηκε με βάση αποτελέσματα δοκιμών στήλης συντονισμού σε αδιατάρακτα δείγματα φυσικών εδαφών. Πιο συγκεκριμένα, για τη μεταβολή των δυναμικών ιδιοτήτων με την παραμόρφωση θεωρήθηκαν οι παρακάτω δύο κατηγορίες εδαφών:

Έδαφος μέσης πλαστικότητας (M) με πλαστικότητα  $PI=27\%$ .

Για τη μελέτη και σύγκριση των αποτελεσμάτων της σεισμικής απόκρισης σε έδαφος μέσης πλαστικότητας, που προκύπτουν από τις προτεινόμενες καμπύλες των Kallioğlu et al. (2008) και Vucetic & Dobry (1991), χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις περιπτώσεις εδαφών: M1-RC, M2-RC, M3, και M4-C.

Για όλες τις περιπτώσεις της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιήθηκε η ίδια ή παρόμοια καμπύλη απομείωσης του μέτρου δυσκαμψίας  $G/G_{max}-\gamma$ . Αυτό προκύπτει ουσιαστικά επειδή η καμπύλη  $G/G_{max}$  που προτείνει η Καλλιόγλου (2003) από δοκιμές στήλης συντονισμού για παραμορφώσεις έως 0.01% και οι Crespellani et al. (2000) από δοκιμές στήλης συντονισμού και στρεπτικής

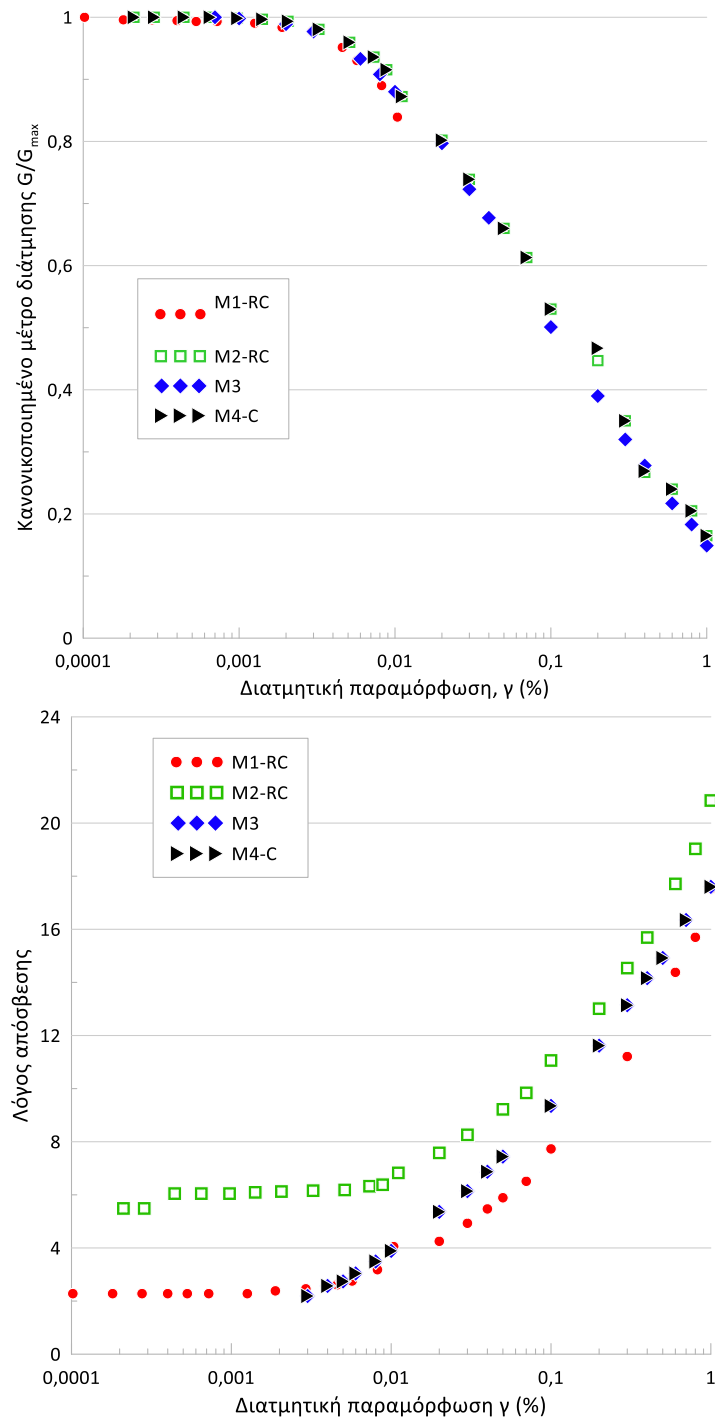
διάτμησης για μεγαλύτερες παραμορφώσεις έως 1%, πρακτικά συμπίπτει με την καμπύλη Vucetic & Dobry (1991)

Σχετικά με τον λόγο απόσβεσης  $DT/DT_{max}$ :

- Για την περίπτωση M1-RC χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες DT-γ που προέκυψαν από τις δοκιμές στήλης συντονισμού με  $DT_{min}=2.3\%$  (Kallioglou et al., 2008)
- Για την περίπτωση M2-RC χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες DT-γ που προέκυψαν από τις δοκιμές στήλης συντονισμού με  $DT_{min}=5.6\%$  (Kallioglou et al., 2008)

Και για τις δυο περιπτώσεις επειδή τα πειραματικά αποτελέσματα περιορίζονται σε παραμορφώσεις έως 0.01%, η καμπύλη DT-γ προεκτάθηκε με βάση την προσδιορισθείσα από τα αποτελέσματα δοκιμών στήλης συντονισμού σχέση μεταξύ των  $DT-DT_{min}$  και  $G/G_{max}$  (Σχήμα 6). Για τις περιπτώσεις M3 και M4-C χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη DT-γ των Vucetic & Dobry (1991) με  $DT_{min}=1.7\%$

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



Σχήμα 8: Καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης,  $G/G_{\max}$ , και του λόγου απόσβεσης,  $\zeta$ , με τη διατμητική παραμόρφωση,  $\gamma$ , για την κατηγορία εδαφους με  $PI=27\%$

Έδαφος υψηλής πλαστικότητας (H) με πλαστικότητα  $PI=66\%$ .

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τρεις περιπτώσεις εδάφους υψηλής πλαστικότητας H: H1-RC, H2, και H3-C.

Όσον αφορά την απομείωση του μέτρου διάτμησης:

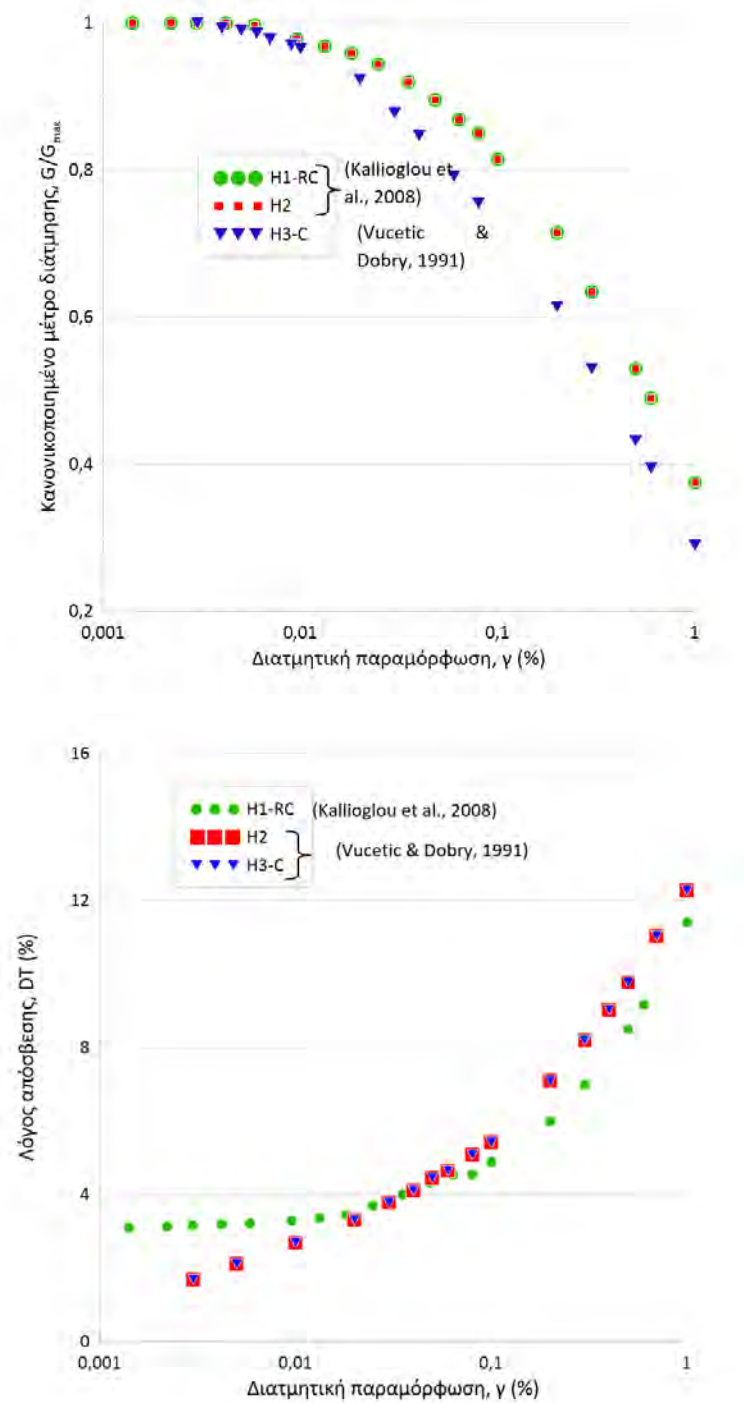
- Για τις περιπτώσεις H1-RC και H3-C χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη  $G/G_{\max}$ - $\gamma$  που προέκυψε από τις δοκιμές στήλης συντονισμού για παραμορφώσεις έως  $0.07\%$  (Kallioğlu et al., 2008). Για μεγαλύτερες παραμορφώσεις χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη των Vucetic & Dobry (1991) για  $PI=100\%$ .
- Για την περίπτωση H2 χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη  $G/G_{\max}$ - $\gamma$  των Vucetic & Dobry, (1991)

Όσον αφορά το λόγο απόσβεσης DT:

- Για την περίπτωση H1-RC χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη DT- $\gamma$  που προέκυψε από τη δοκιμή στήλης συντονισμού με  $DT_{\min}=3.1\%$  για παραμορφώσεις έως  $0.07\%$ . Για μεγαλύτερες παραμορφώσεις, η καμπύλη προεκτάθηκε με βάση την προσδιορισθείσα από τα αποτελέσματα δοκιμών στήλης συντονισμού σχέση μεταξύ των  $DT-DT_{\min}$  και  $G/G_{\max}$ .
- Για τις περιπτώσεις H2 και H3-C χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη DT- $\gamma$  των Vucetic & Dobry (1991) με  $DT_{\min}=1.4\%$



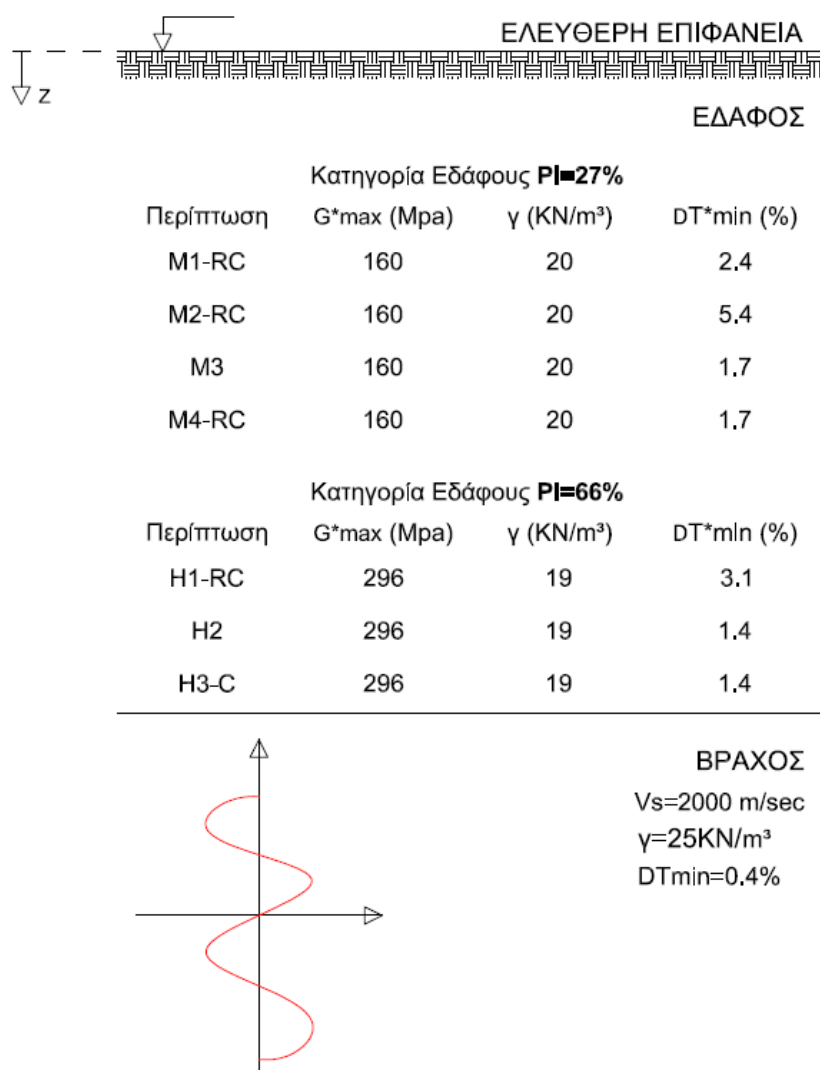
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



Σχήμα 9: Καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης  $G/G_{max}$  και του λόγου απόσβεσης DT, με τη διατμητική παραμόρφωση  $\gamma$  για την κατηγορία εδάφους με  $PI=66\%$

### 3.3 Εδαφική Τομή

Η παραμετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε μονοστρωματικό έδαφος μέσης ( $PI=27\%$ ) ή υψηλής ( $PI=66\%$ ) πλαστικότητας, το οποίο υπέρκειται βράχου, για πάχος στρώματος  $z=5-60m$ , και μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων ( $V_s=20-360m/s$ ), για όλες τις παραπάνω κατηγορίες εδάφους (M1-RC, M2-RC, M3, M4-C, H1-RC, H2, H3-C) όπως φαίνεται στο Σχήμα 10. Η ταξινόμηση της ποιότητας του εδάφους κατά EC8 ανάλογα της διατμητικής ταχύτητας των κυμάτων και συναρτήσει του βάθους φαίνεται στον Πίνακα 2.



Σχήμα 10: Εδαφική τομή με τα στοιχεία των υπό μελέτη κατηγοριών εδάφους

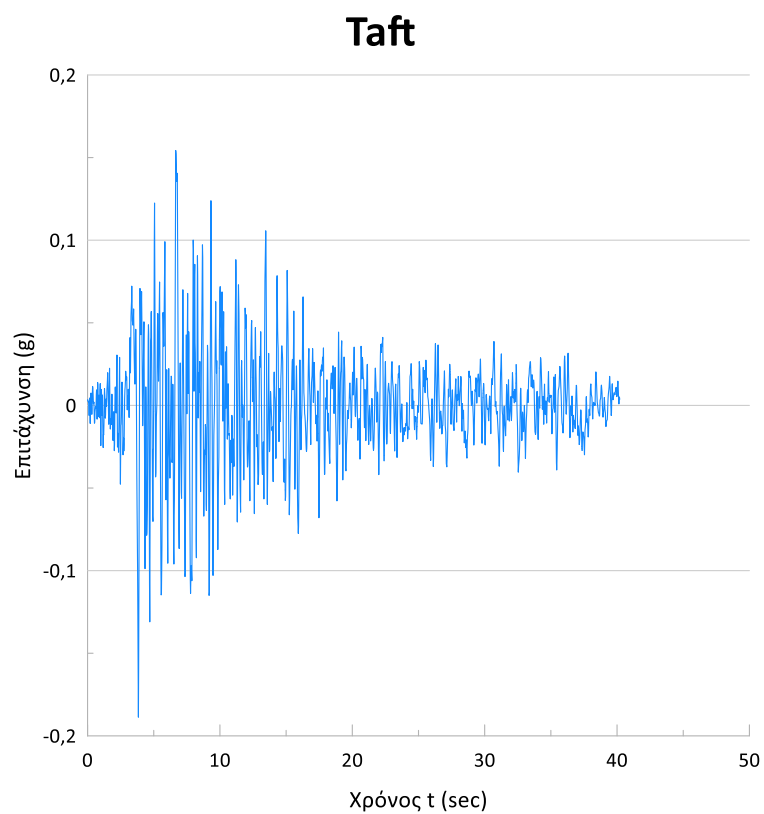
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

Πίνακας 2: Κατηγορίες εδάφους ανάλογα των φυσικών χαρακτηριστικών του εδαφικού προφίλ ( $z(m)$ ,  $PI(\%)$ ,  $V_s$ ) σύμφωνα με τις οποίες πραγματοποιήθηκε η παραμετρική ανάλυση

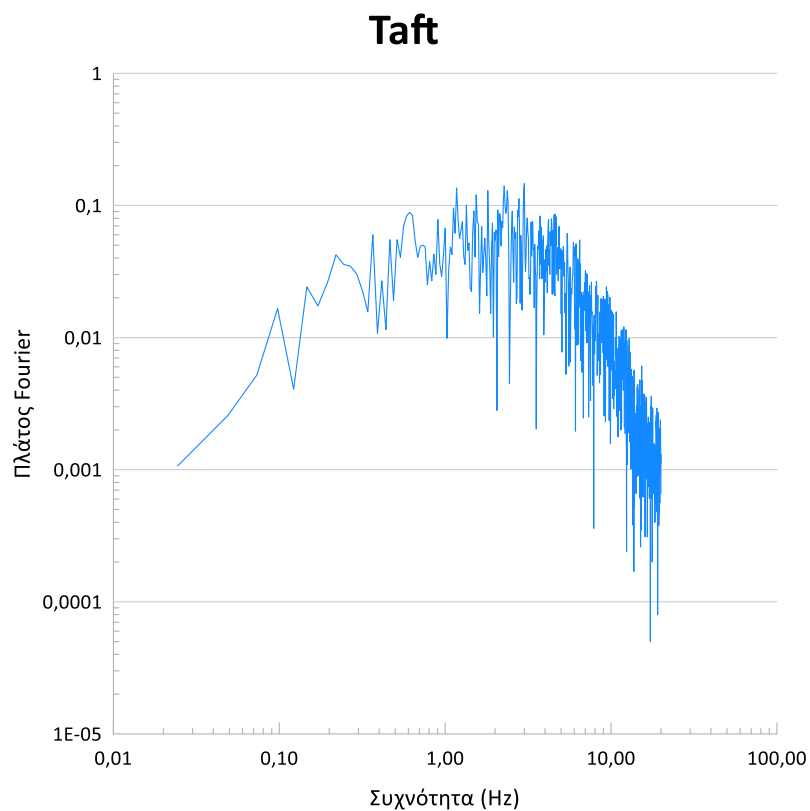
$V_s (m/s)$	20	50	100	20-100	50-100	150	180	100-180	270	360	180-360	
$Bάθος\ z(m)$	Κατηγορίες εδάφους βάσει EC8											PI (%)
5		E	E		E	E	E	E	E	E	E	27
	S2	S2	E	S2	S2	E	E	E	E	E	E	66
10		E	E		E	E	E	E	E	E	E	27
	S1	S1	S1-E	S1	S1	E	E	E	E	E	E	66
20		E	E		E	E	E	E	E	E	E	27
		S1	S1-E	S1	S1	E	E	E	E	E	E	66
30		D	S1		D	C	D	C	C	C	C	27
		D	S1		D	C	D	C	C	C	C	66
60							C	D	C	C	C	27
							C	D	C	C	C	66

### 3.4 Συχνотικό περιεχόμενο της εδαφικής κίνησης

Το μέγιστο πλάτος της εδαφικής κίνησης (επιτάχυνση, ταχύτητα και μετακίνηση) δεν αρκεί για να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο μία κατασκευή, ή ακόμα και εδαφική απόθεση, θα συμπεριφερθεί στη συγκεκριμένη σεισμική διέγερση. Ένας σεισμός έχει ως αποτέλεσμα μία σύνθετη κίνηση, η οποία καλύπτει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και σε καθεμία από τις συχνότητες αντιστοιχεί ένα πλάτος κίνησης. Το συχνотικό περιεχόμενο της σεισμικής κίνησης περιγράφει ακριβώς πως διαφοροποιείται το πλάτος της κίνησης στις διαφορετικές συχνότητες. Οι κυριότερες τεχνικές, τις οποίες μετέρχεται και η παρούσα εργασία, είναι το φάσμα Fourier και τα ελαστικά φάσματα απόκρισης, εκ των οποίων αυτό που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας είναι το φάσμα της επιτάχυνσης, όπως θα δούμε παρακάτω στις αναλύσεις.



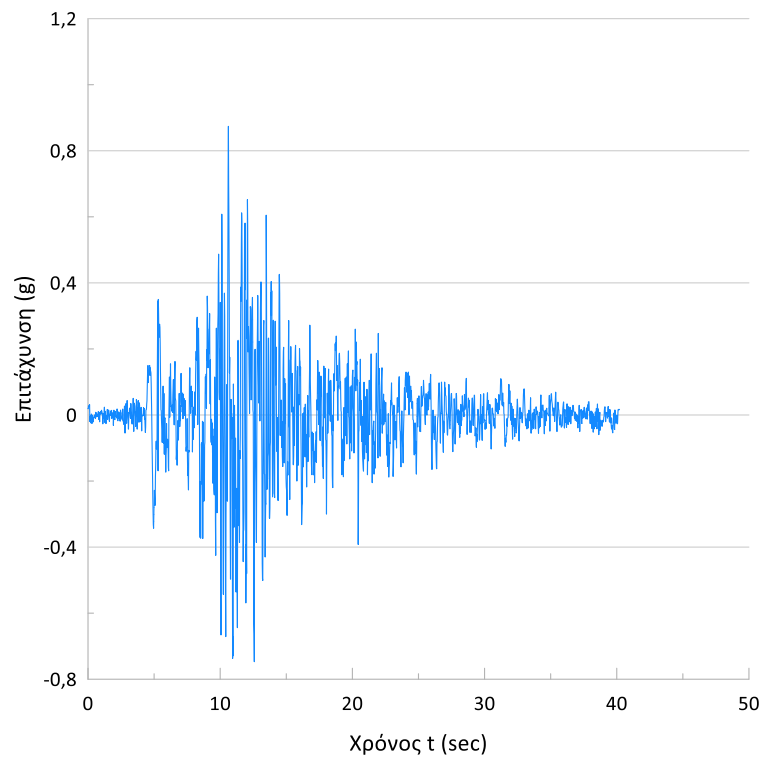
**Σχήμα 11: Χρονοϊστορία της επιτάχυνσης για το σεισμό Taft**



**Σχήμα 12: Φάσμα Fourier του σεισμού Taft**

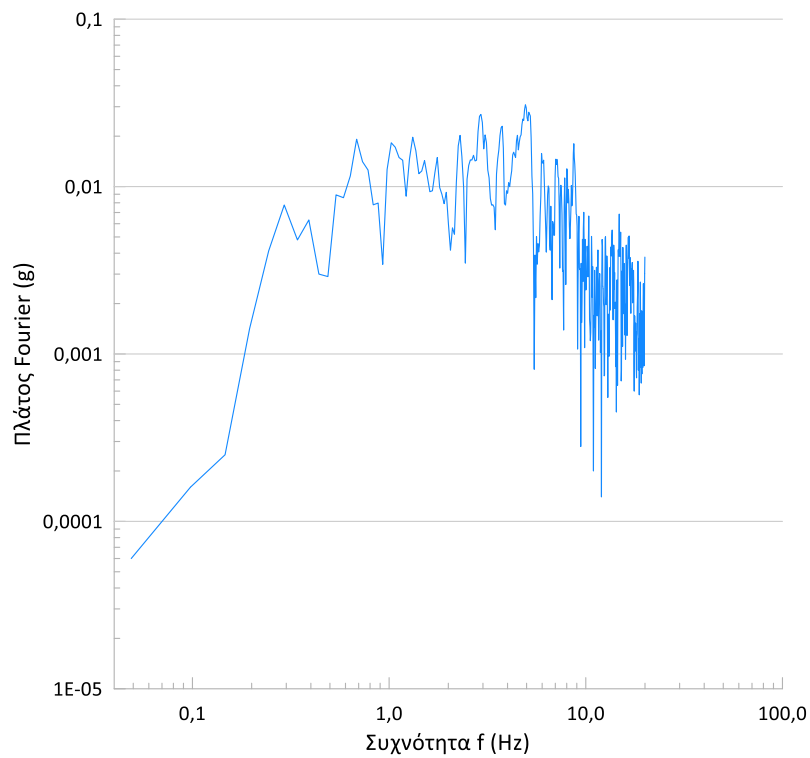
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

## Tabas



Σχήμα 13: Χρονοϊστορία της επιτάχυνσης για το σεισμό Tabas

## Tabas



Σχήμα 14: Φάσμα Fourier του σεισμού Tabas

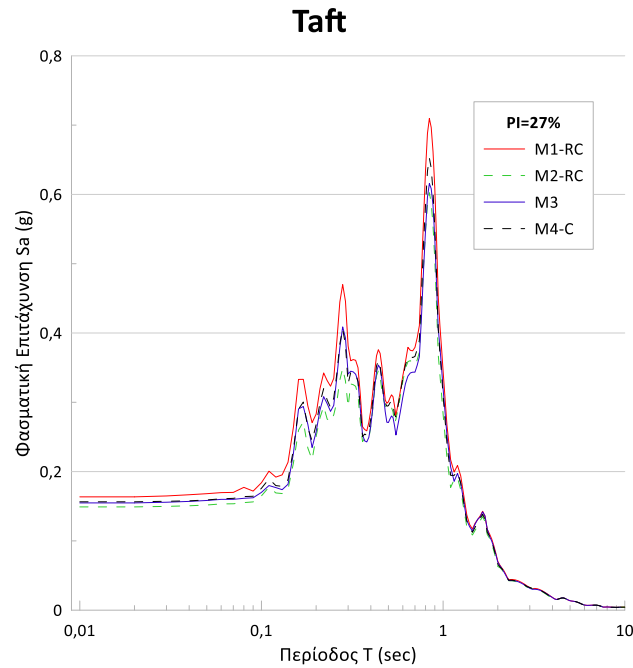
Για το λόγο αυτό, σχεδιάστηκαν τα φάσματα Fourier των δυο σεισμών με τη βοήθεια του προγράμματος Seismosignal και δεδομένα τα στοιχεία των επιταχυνσιογραφημάτων (χρονοϊστοριών επιτάχυνσης) εκάστου σεισμού. Κάθε περιοδική συνάρτηση μπορεί να εκφραστεί ως ένα άθροισμα απλών αρμονικών διαφορετικής συχνότητας, πλάτους και φάσης. Το άθροισμα των πλατών Fourier, δηλαδή η επιφάνεια του φάσματος πλάτους Fourier, συνιστά ένα μέτρο της συνολικής σεισμικής ενέργειας που περιέχεται σε μία ισχυρή εδαφική κίνηση. Οι αιχμές στη γραμμή του φάσματος προσδιορίζουν τις περιόδους (ή συχνότητες) όπου η σεισμική ενέργεια μεγιστοποιείται. Αυτές για τον σεισμό Taft συναντώνται για συχνότητες 1.8 Hz και μέγιστο πλάτος Fourier 0.1g ενώ για τον σεισμό Tabas συναντώνται στη συχνότητα των 6Hz με μέγιστο πλάτος Fourier 0.03g. Αυτό σημαίνει ότι για μικρές συχνότητες ο σεισμός Taft παρουσιάζει τη μεγιστοποίηση στην εκτόνωση της σεισμικής ενέργειας του, ενώ για πολύ μεγαλύτερες συχνότητες ο Tabas παρουσιάζει τη δική του, και η οποία ενέργεια είναι πολύ μικρότερη της αντίστοιχης του Taft. Αξίζει να σημειωθεί ότι για τον σεισμό Tabas οι αιχμές είναι σε ένα ευρύτερο φάσμα κοντά στη μέγιστη τιμή τους για ένα πλάτος συχνοτήτων 0.8-10Hz και κατ'επέκταση η σεισμική ενέργεια εκλύεται σταθερά για αυτό το εύρος συχνοτήτων, ενώ για τον σεισμό Taft οι συχνότητες 1-2Hz είναι αυτές που παρουσιάζουν κοντινές μέγιστες τιμές (περιορισμένο εύρος συχνοτήτων) και υπερβαίνουν σε πλάτος κατά πολύ το αντίστοιχο του σεισμού Tabas. Γενικά, όπως επιβεβαιώνουν και οι περιπτώσεις των σεισμών Tabas και Taft, οι ισχυροί σεισμοί προκαλούν εδαφικές κινήσεις πλούσιες σε χαμηλές συχνότητες, σε αντίθεση με χαμηλότερης έντασης σεισμούς, που διακρίνονται κυρίως για το υψίσυχο συχνοτικό τους περιεχόμενο. Επίσης παρατηρείται ότι και οι δύο σεισμοί είναι μεγάλης διάρκειας με τις μέγιστες φασματικές επιταχύνσεις να εμφανίζονται σε ένα σχετικά μεγάλο εύρος συχνοτήτων.

Όσον αφορά τη δεύτερη τεχνική περιγραφής του συχνοτικού περιεχομένου της εδαφικής κίνησης, το ελαστικό φάσμα απόκρισης, είναι μια τεχνική η οποία έχει πολύ μεγάλη πρακτική εφαρμογή στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών διότι περιγράφει απλά και επαρκώς τη μέγιστη απόκριση μιας κατασκευής όταν δεχθεί έναν σεισμικό κραδασμό διαμέσου του εδάφους. Το φάσμα απόκρισης δίνει τη μέγιστη απόκριση (μετακίνηση, ταχύτητα, επιτάχυνση) ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή με απόσβεση σε μία συγκεκριμένη διέγερση στη βάση, ως συνάρτηση της ιδιοσυχνότητας (ή ιδιοπεριόδου) και του συντελεστή απόσβεσης του δεδομένου μονοβάθμιου ταλαντωτή. Στο επόμενο κεφάλαιο φαίνονται τα αποτελέσματα των φασματικών επιταχύνσεων που προέκυψαν από τις αναλύσεις στο EERA σε κοινά διαγράμματα για τις κατηγορίες των εδαφών υπό σύγκριση. Η ταξινόμηση της παρουσίας των αναλύσεων έγινε κατά κατηγορία εδάφους EC8.

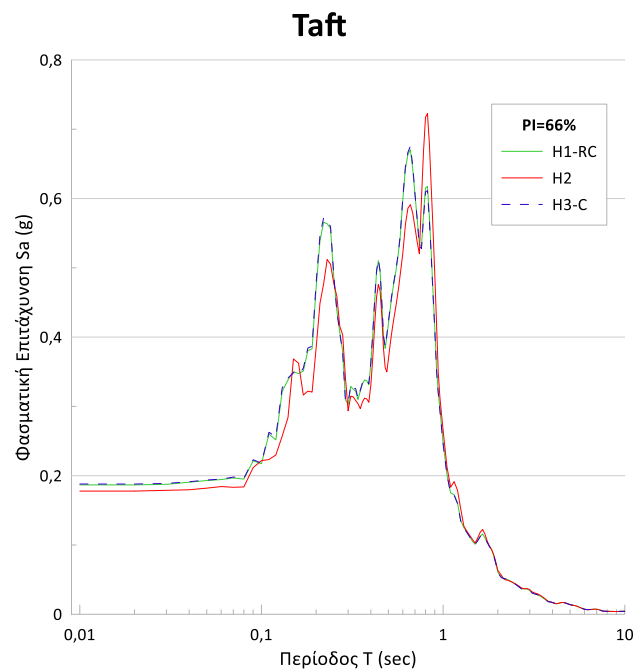
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

### 4.1 Φασματικές επιταχύνσεις ανά κατηγορία εδάφους

#### 4.1.1 Κατηγορία Εδάφους C

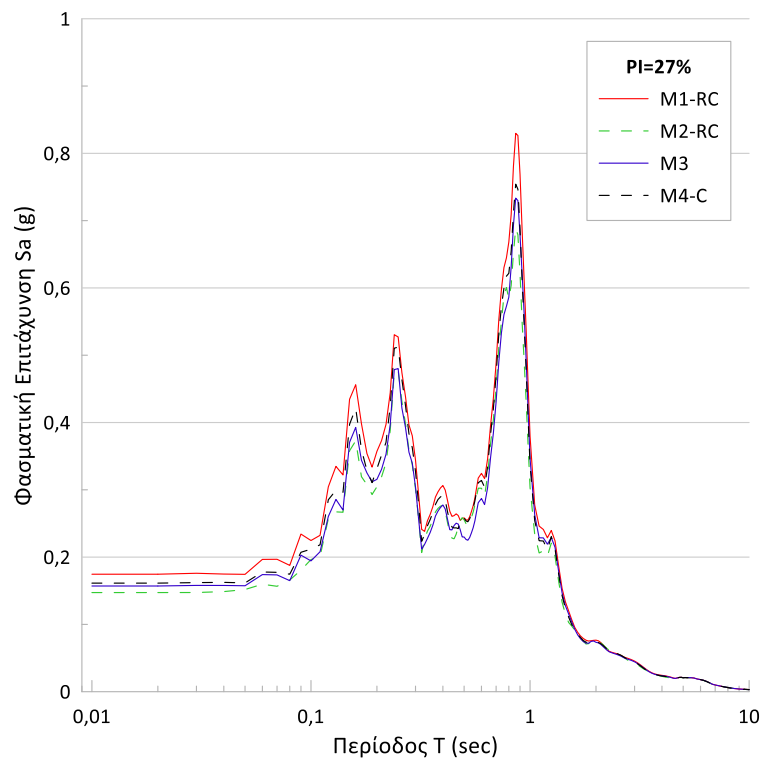


Σχήμα 15: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=180m/s$



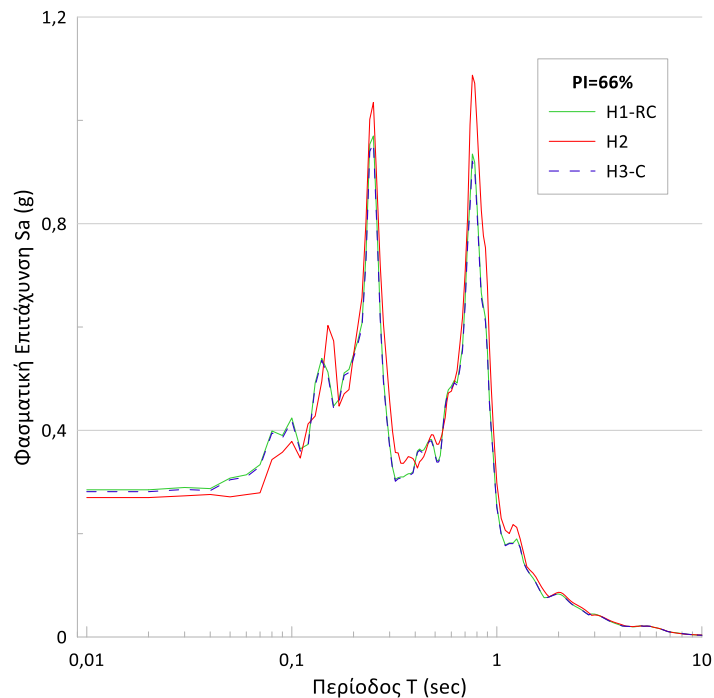
Σχήμα 16: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=180m/s$

## Tabas



Σχήμα 17: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=180m/s$

## Tabas

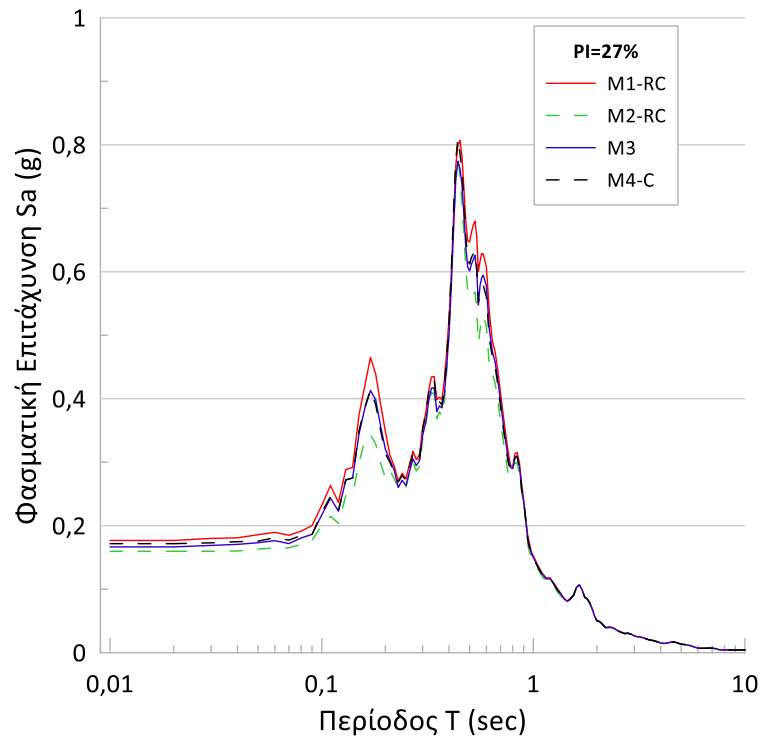


Σχήμα 18: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=180m/s$



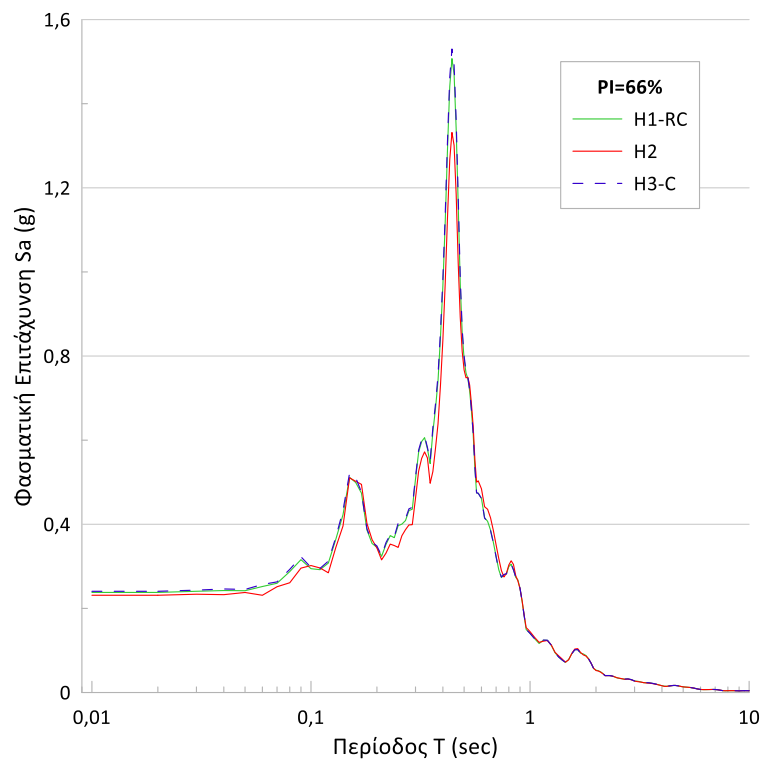
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

## Taft

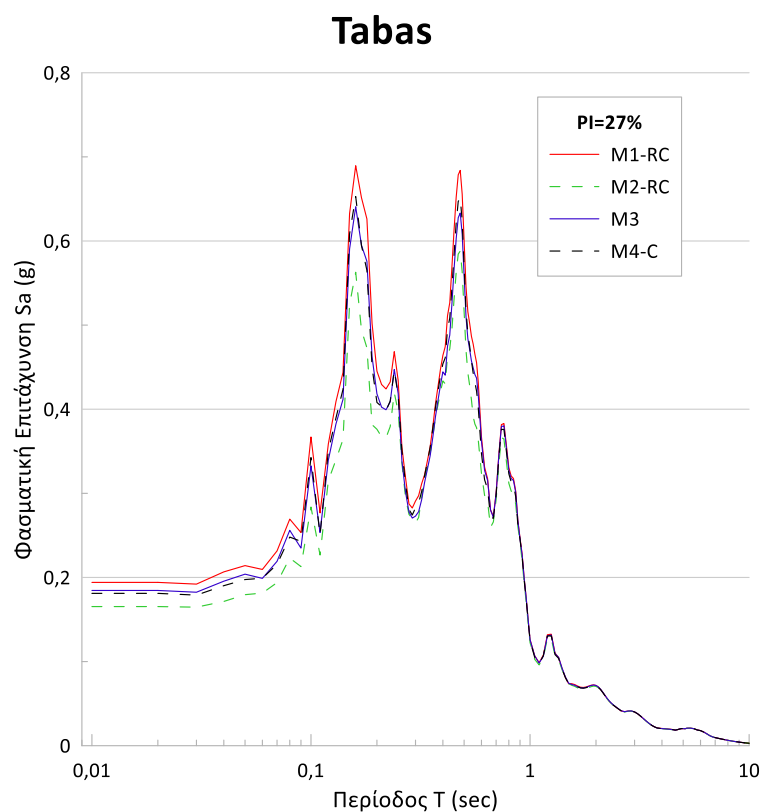


Σχήμα 19: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=270m/s$

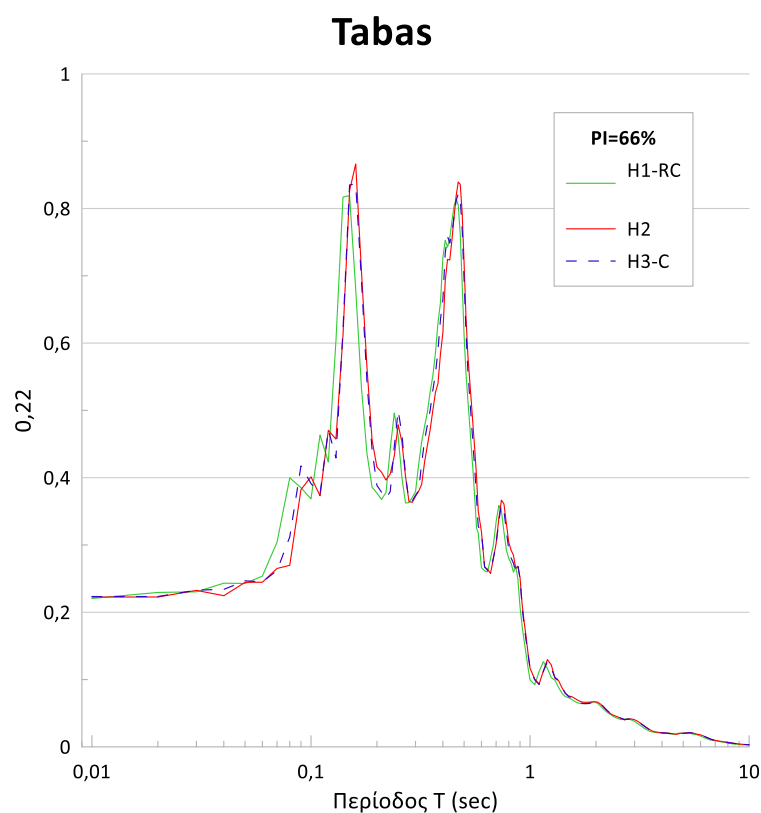
## Taft



Σχήμα 20: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=270m/s$

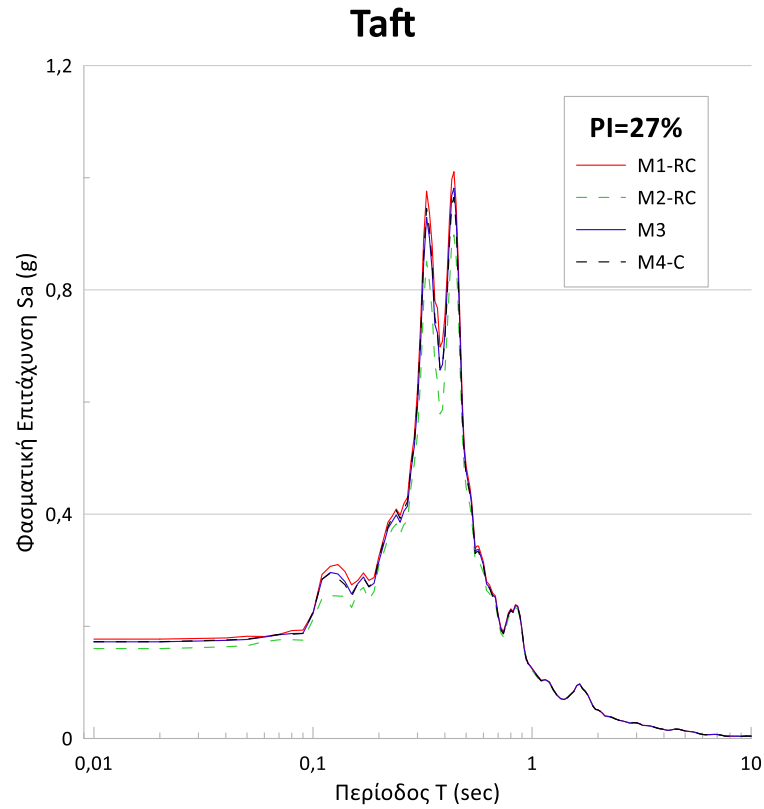


Σχήμα 21: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$ ,  $V_s=270m/s$

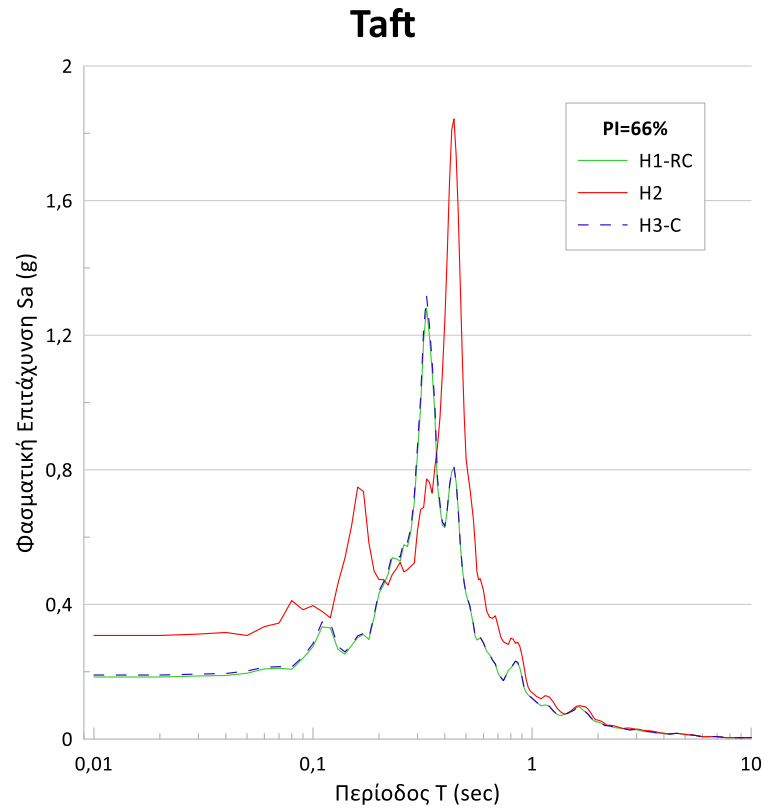


Σχήμα 22: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=270m/s$

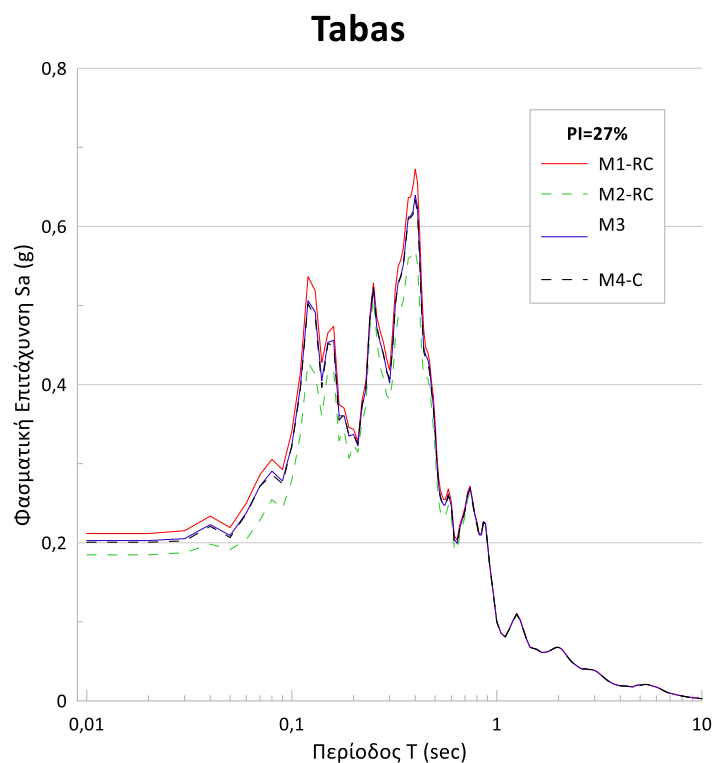
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



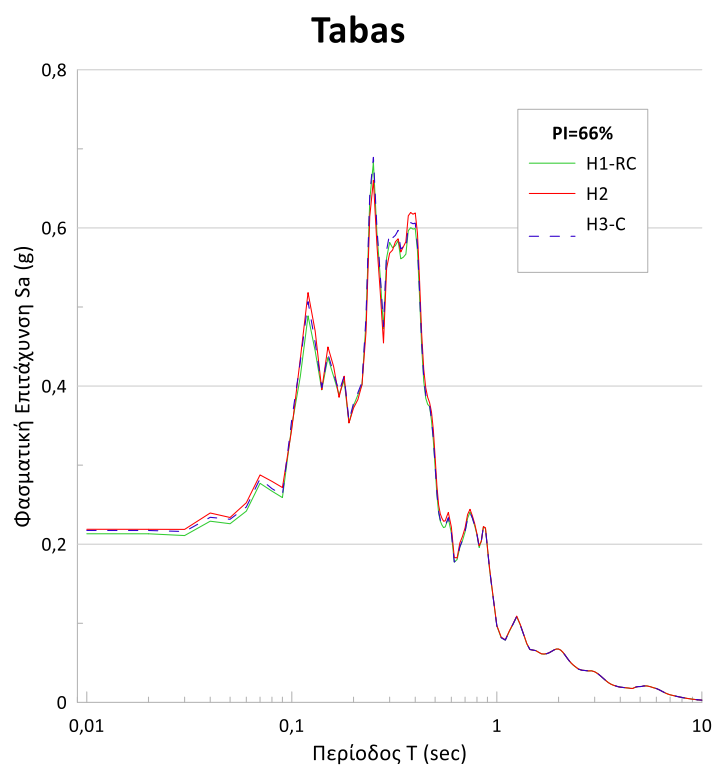
Σχήμα 23: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=360m/s$



Σχήμα 24: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=360m/s$

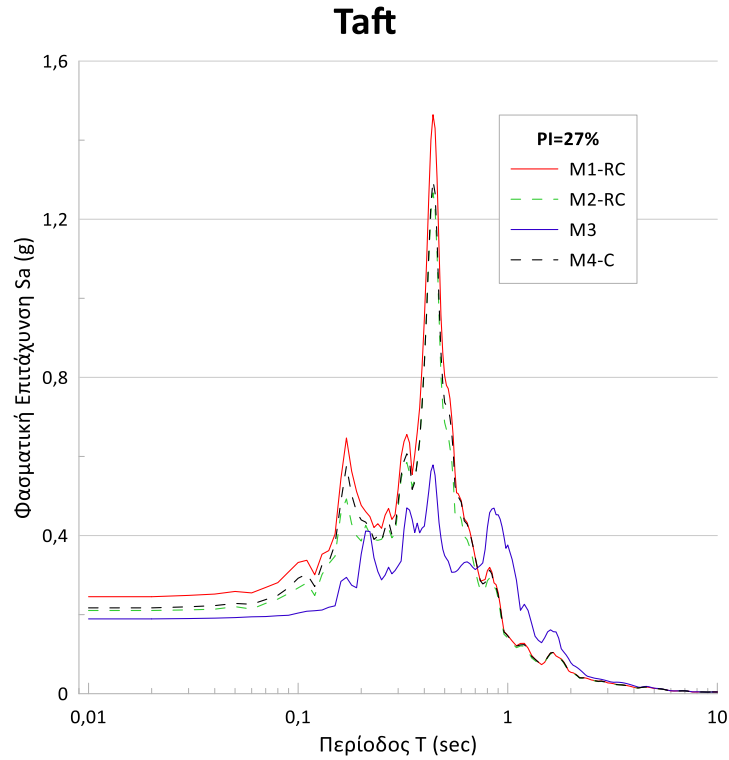


Σχήμα 25: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=360m/s$

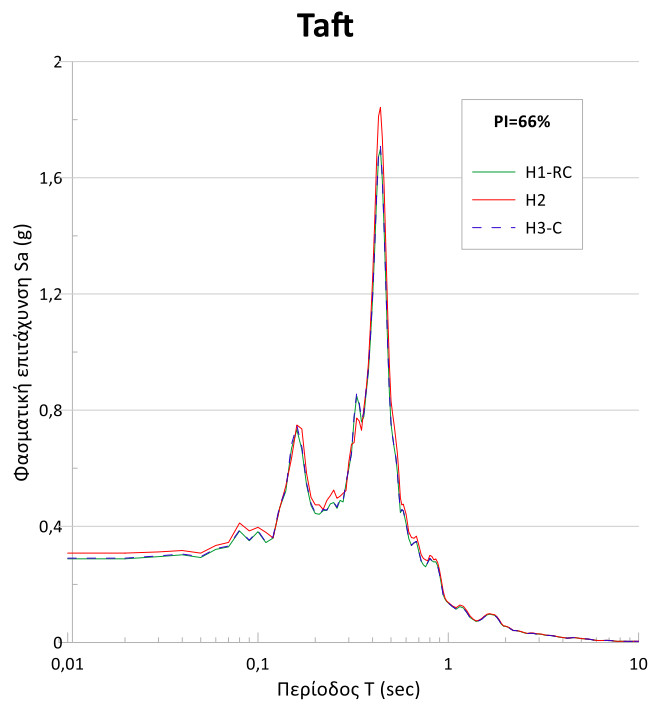


Σχήμα 26: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=360m/s$

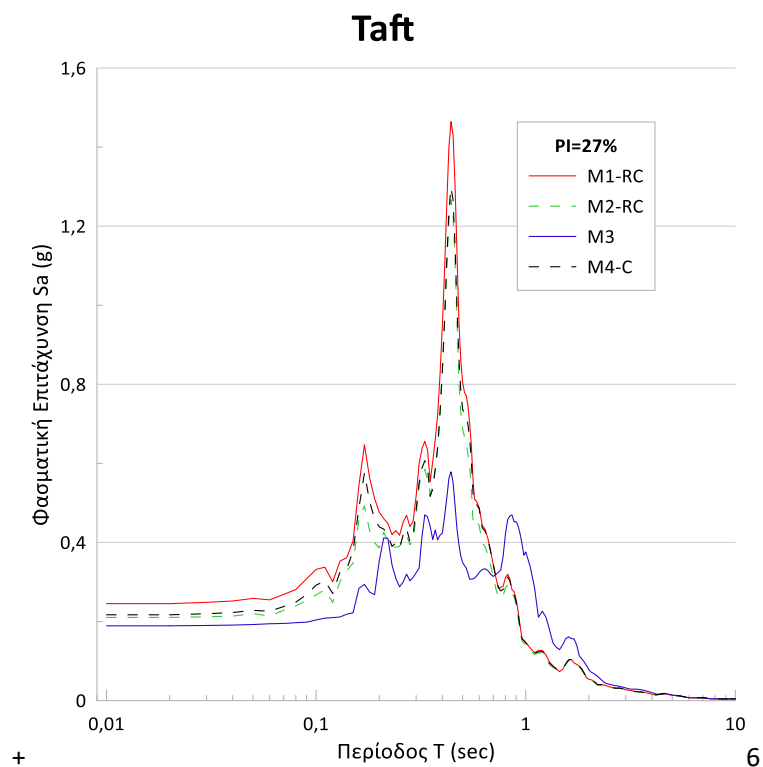
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



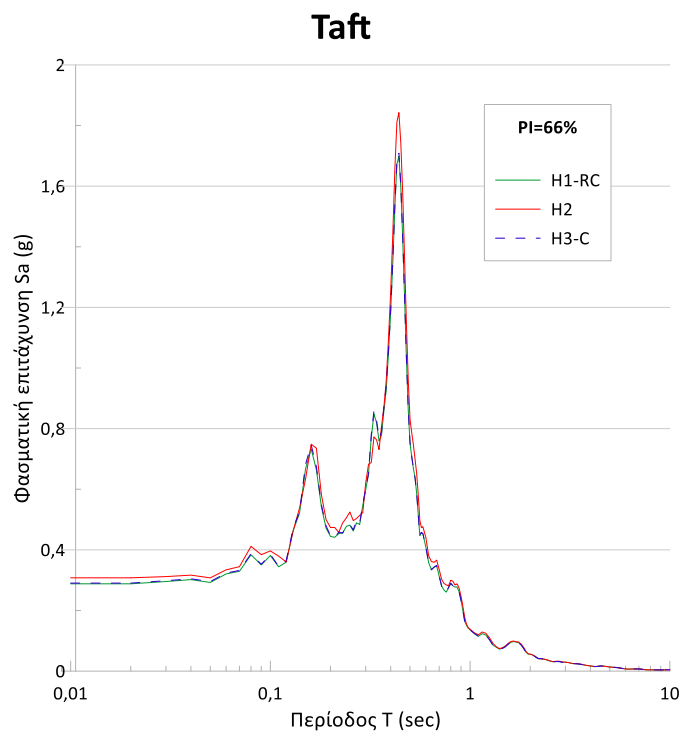
Σχήμα 27: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=180-360m/s$



Σχήμα 28: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=180-360m/s$



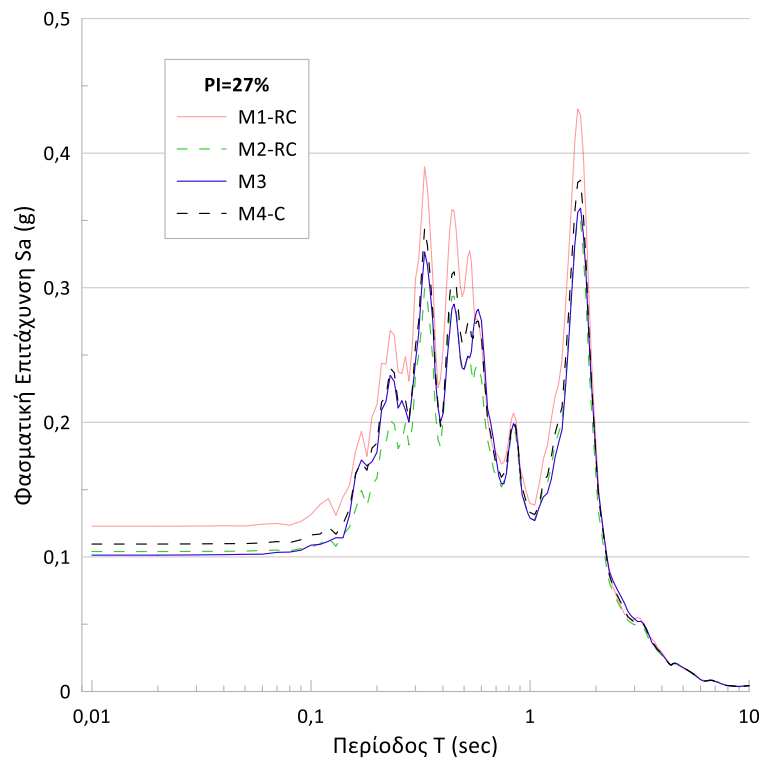
Σχήμα 29: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=180-360m/s$



Σχήμα 30: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=180-360m/s$

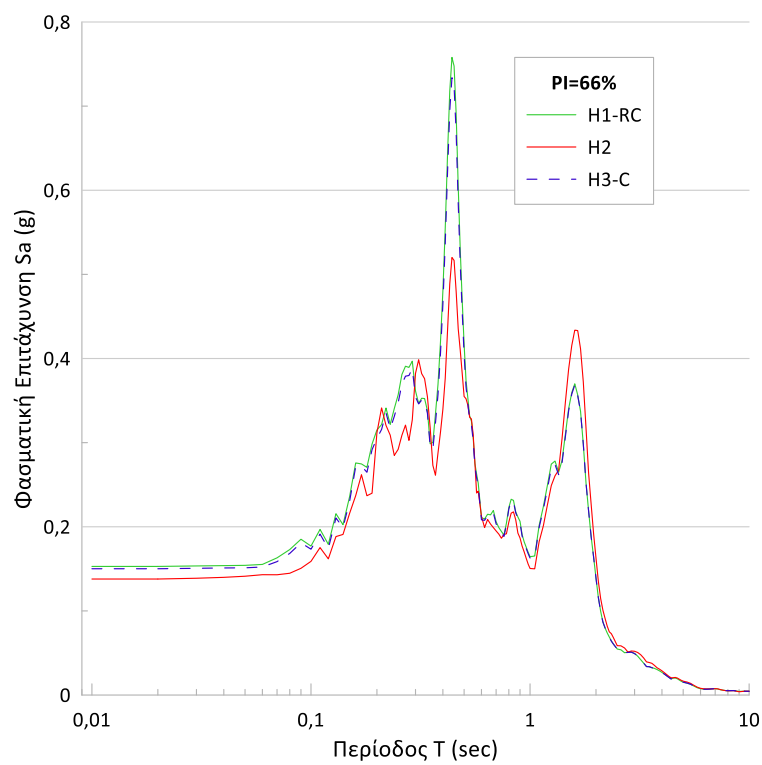
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Taft

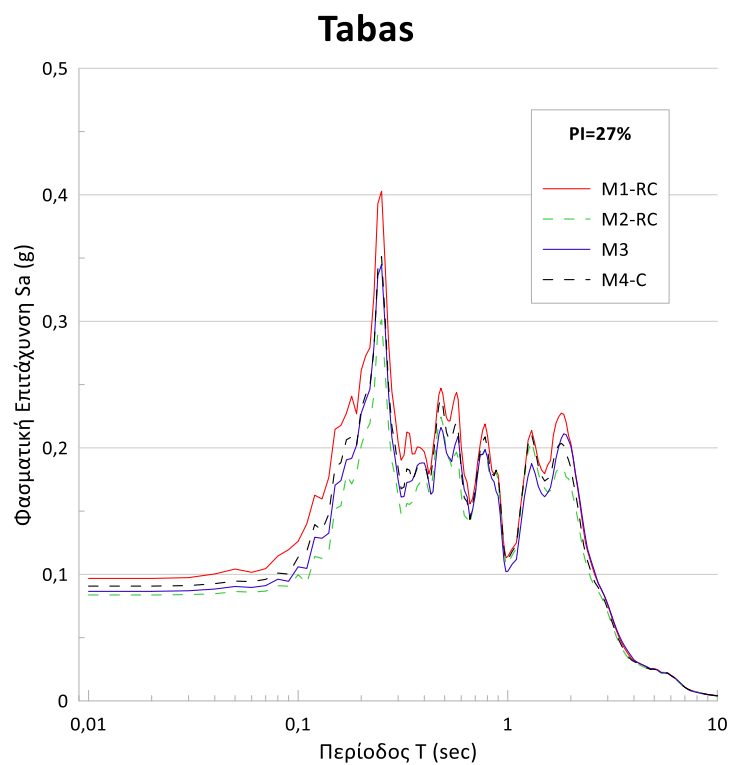


Σχήμα 31: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=180m/s$

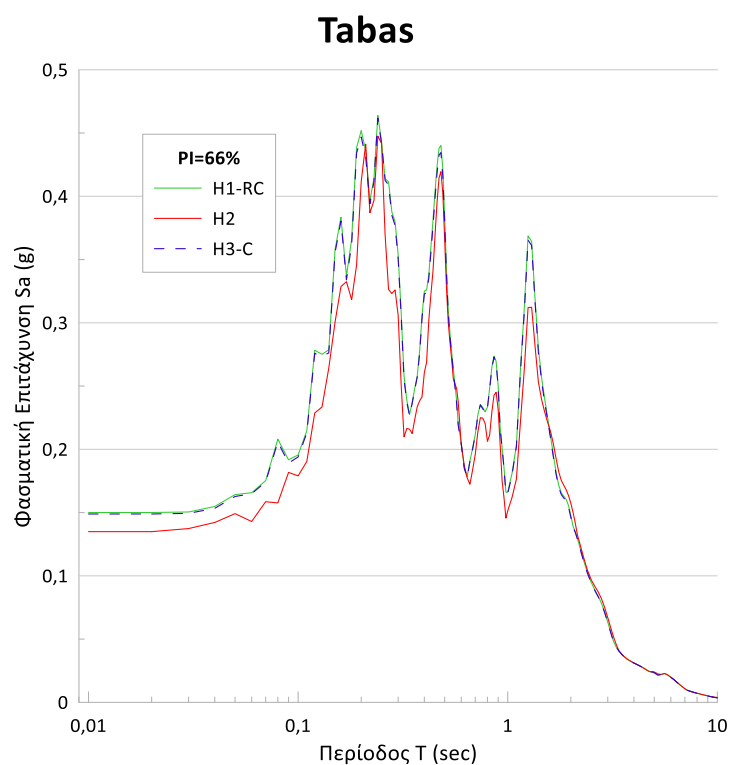
### Taft



Σχήμα 32: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $Z=60m$  και  $V_s=180m/s$



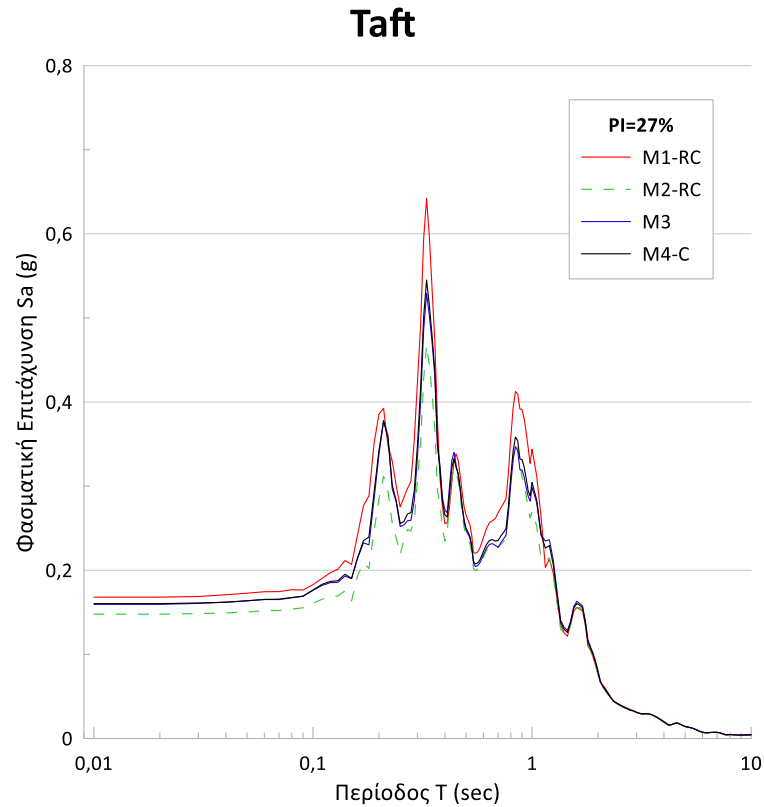
Σχήμα 33: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=180m/s$



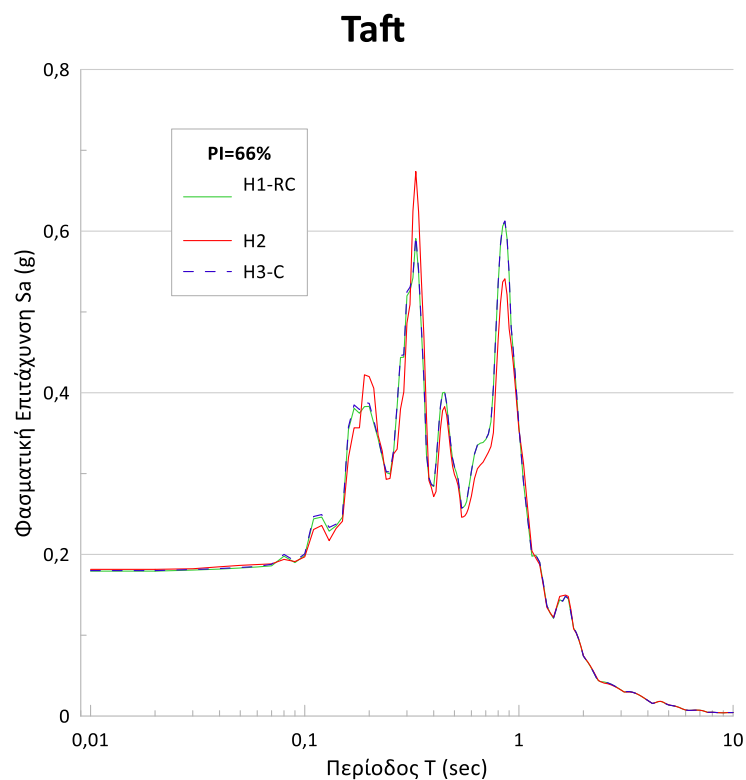
Σχήμα 34: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=180m/s$



Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

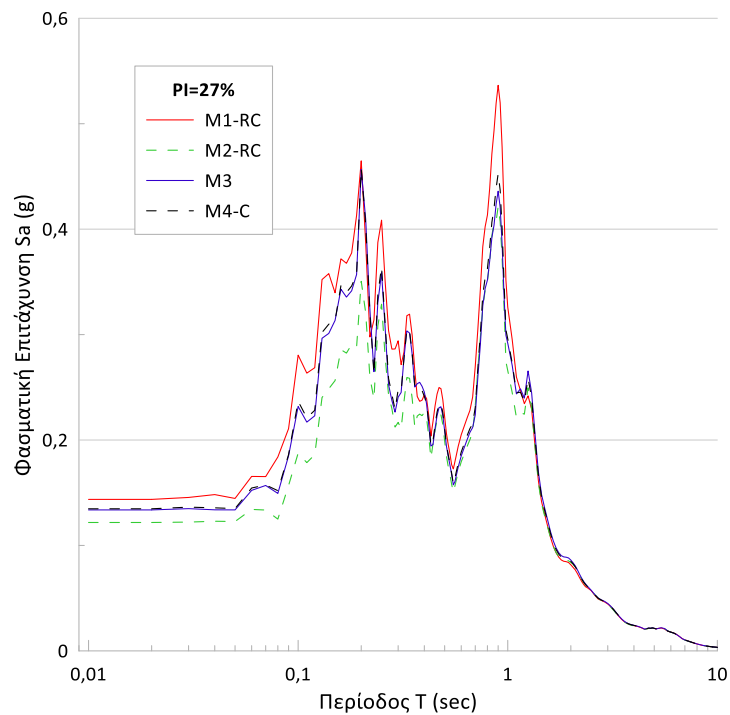


Σχήμα 35: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=270m/s$



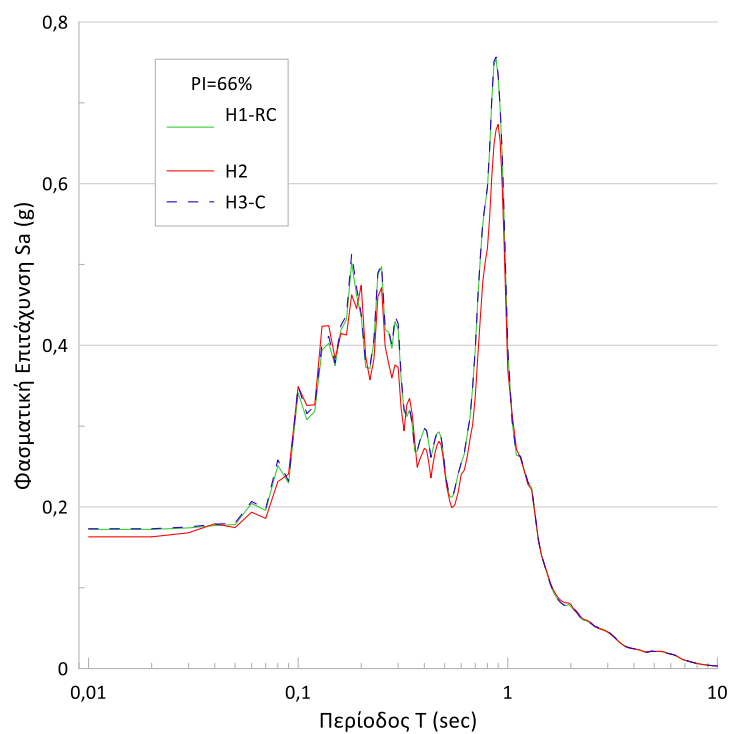
Σχήμα 36: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=270m/s$

## Tabas



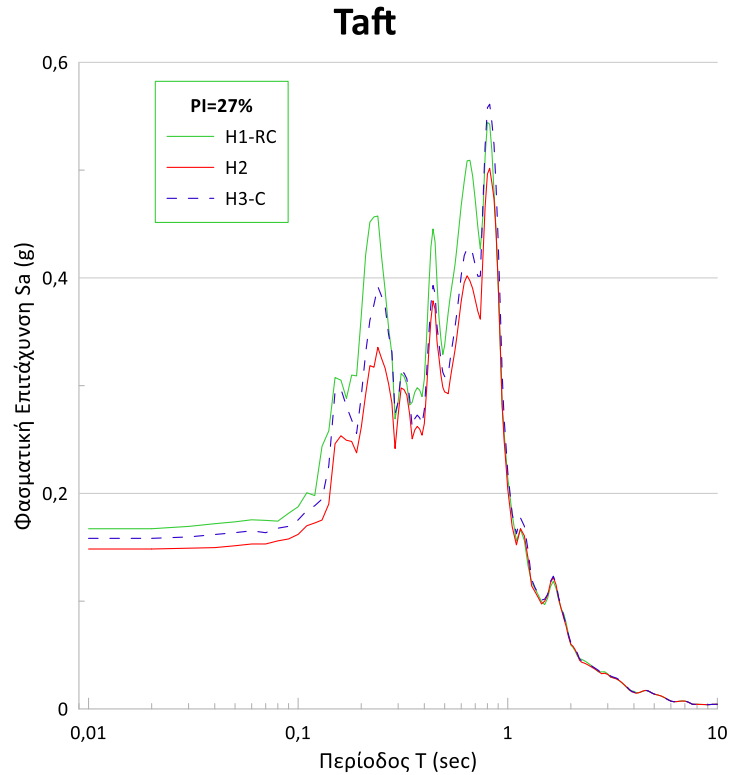
Σχήμα 37: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=270m/s$

## Tabas

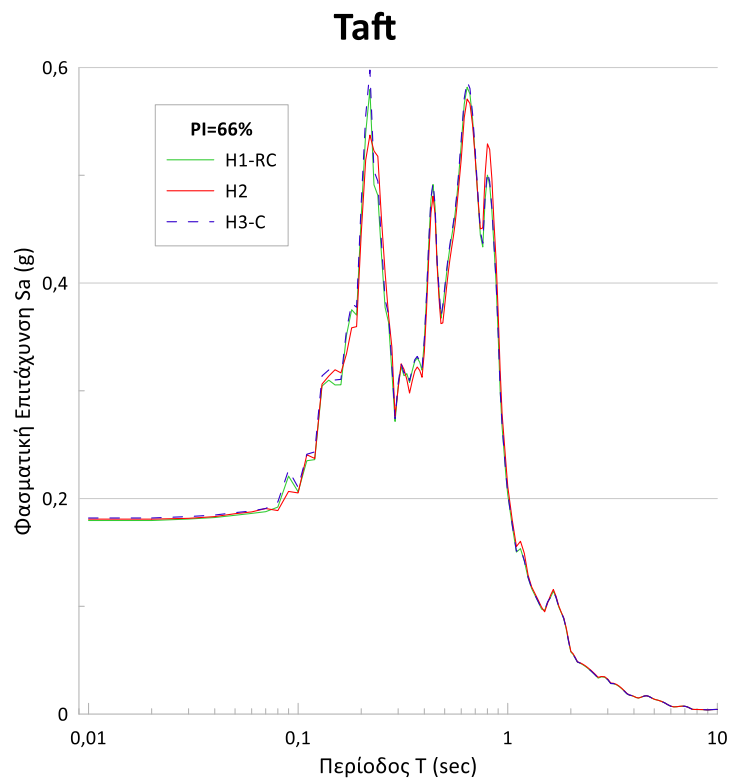


Σχήμα 38: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=270m/s$

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

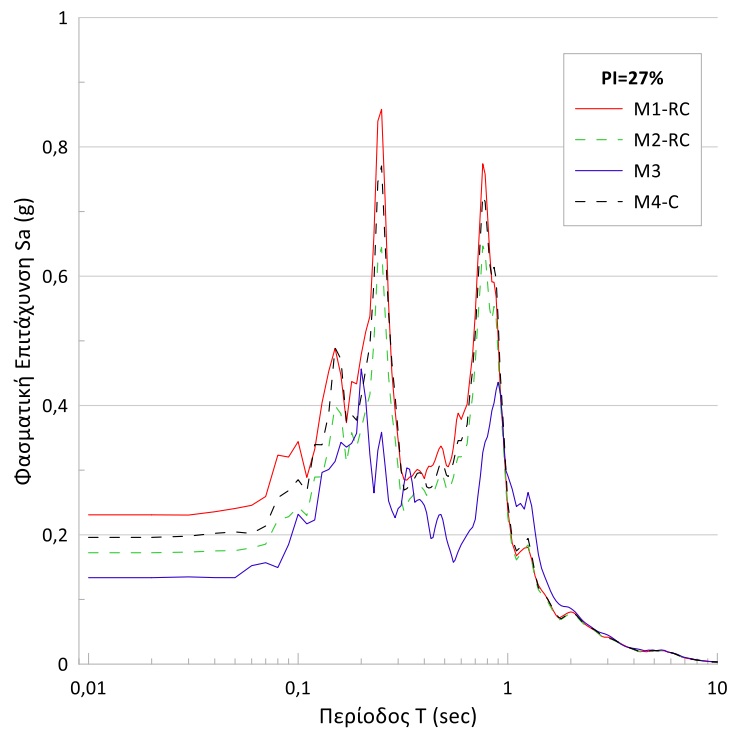


Σχήμα 39: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=360$  m/s



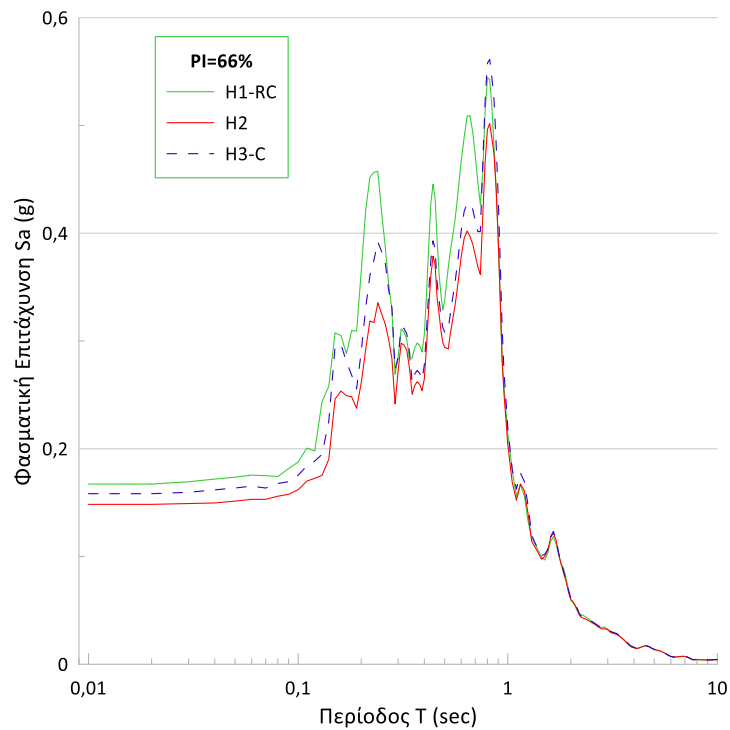
Σχήμα 40: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=360$  m/s

### Tabas



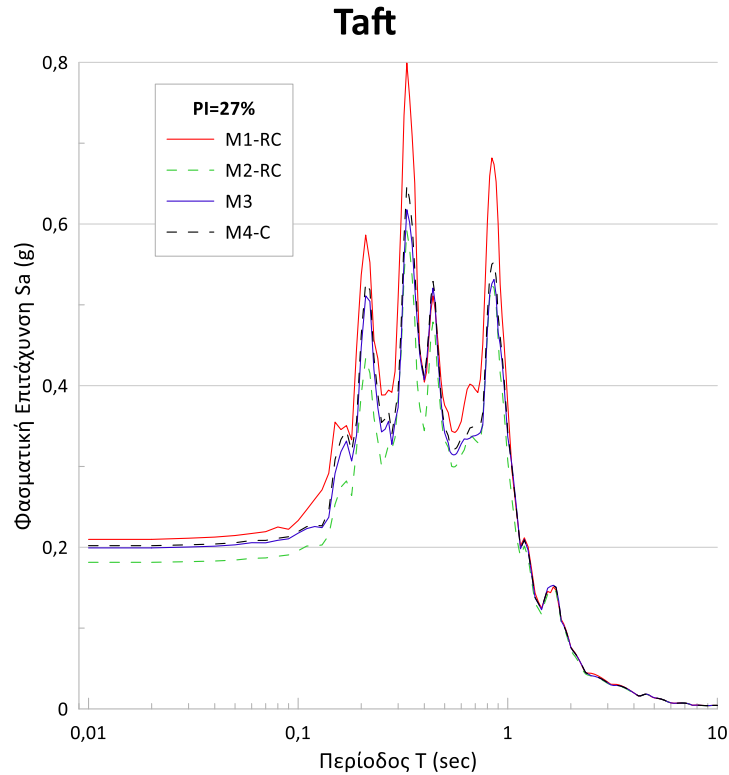
Σχήμα 41: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=60$ m και  $V_s=360$  m/s

### Tabas

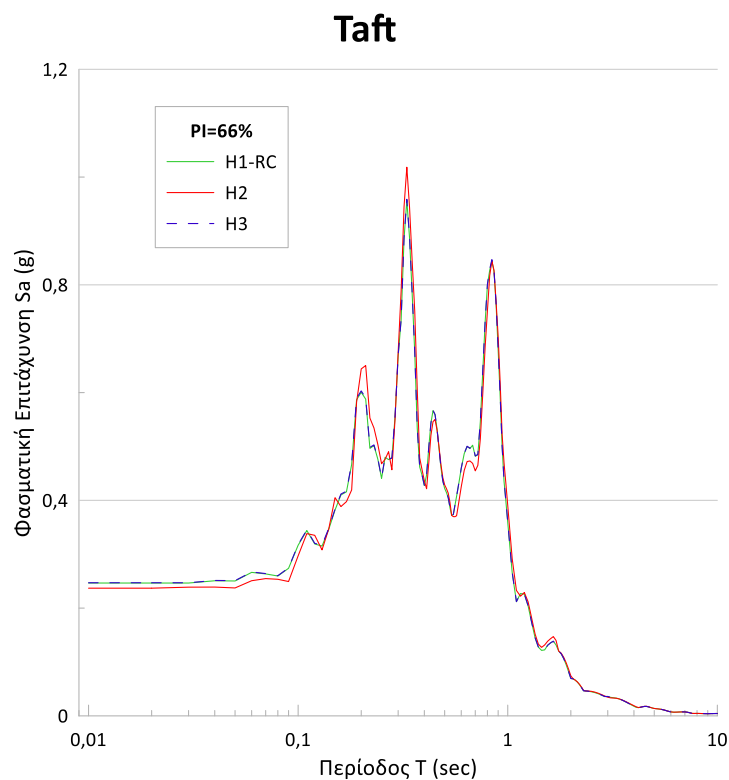


Σχήμα 42: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=60$ m και  $V_s=360$  m/s

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

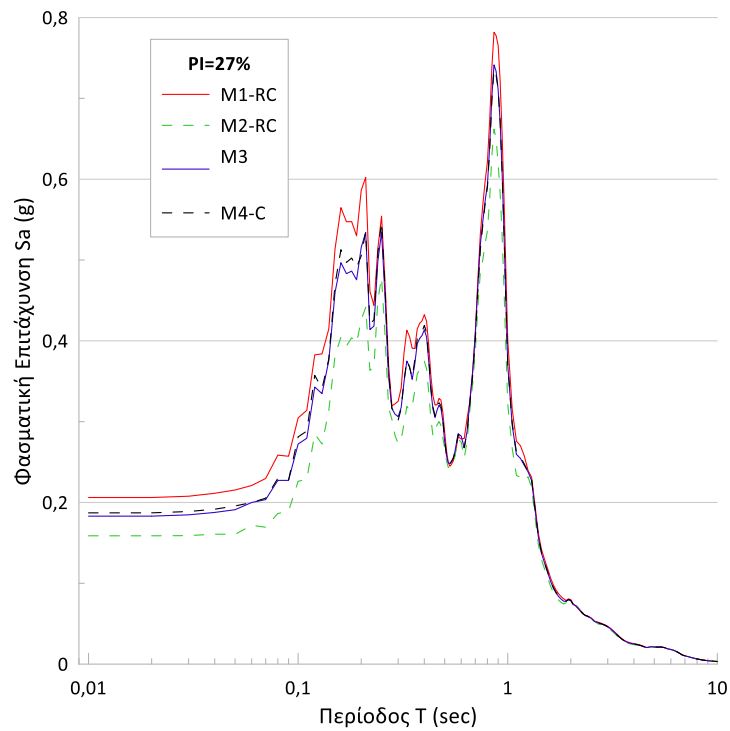


Σχήμα 43: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=180-360$  m/s



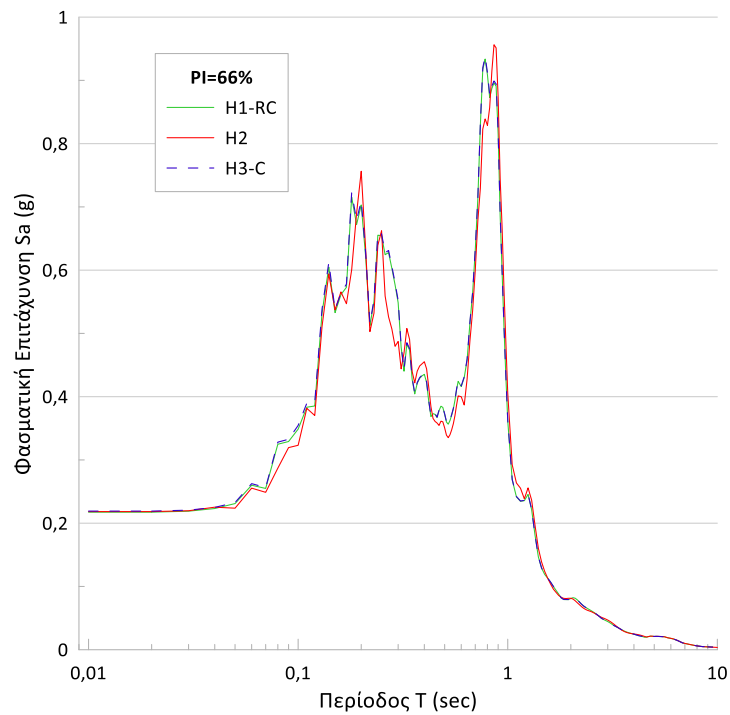
Σχήμα 44: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=180-360$  m/s

## Tabas



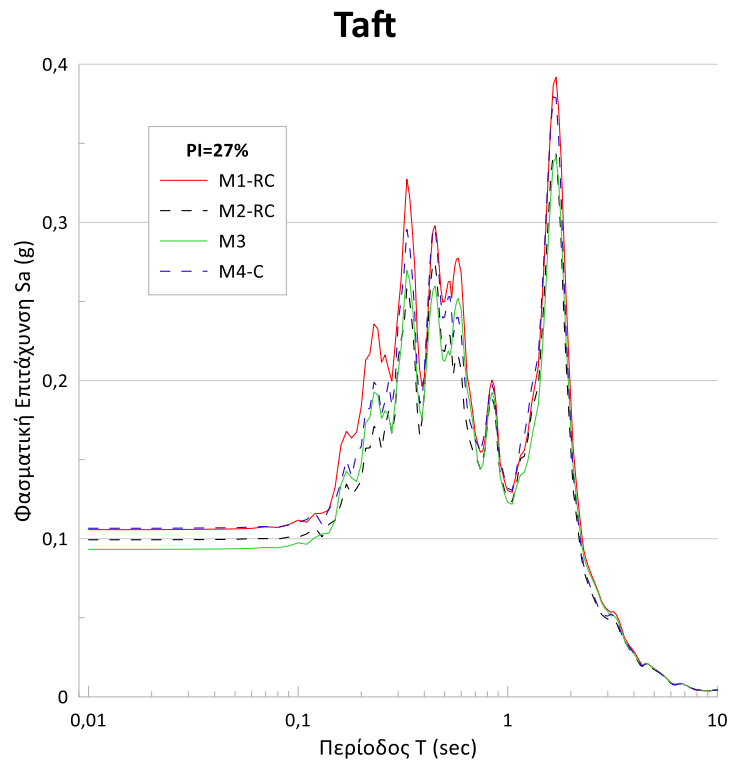
Σχήμα 45: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=27\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=180-360$  m/s

## Tabas

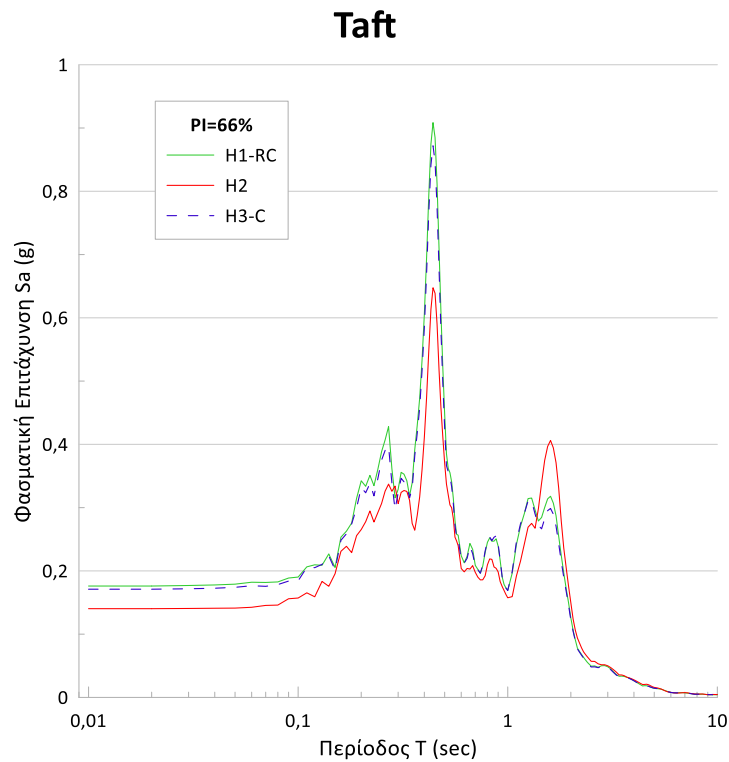


Σχήμα 46: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας C με  $PI=66\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=180-360$  m/s

#### 4.1.2 Κατηγορία εδάφους D

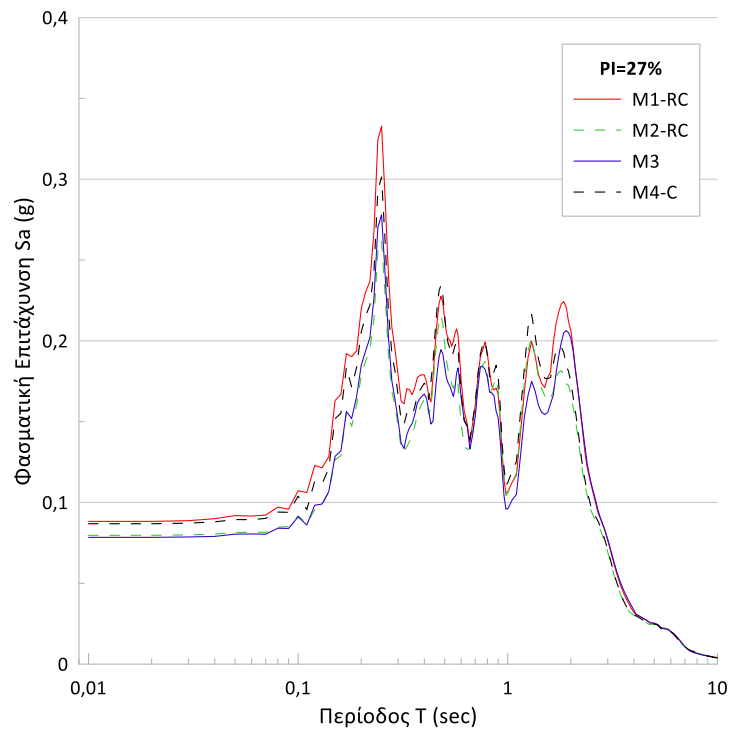


Σχήμα 47: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=100 m$



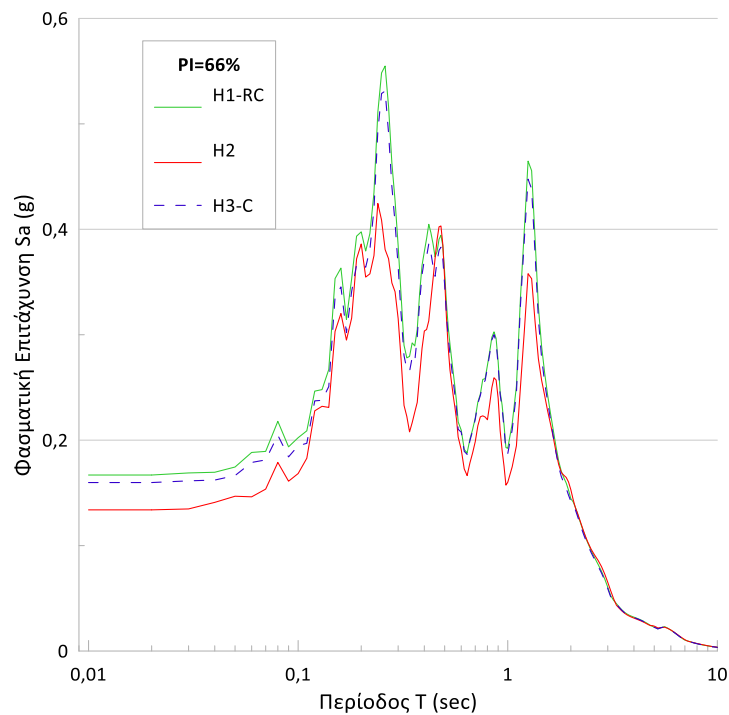
Σχήμα 48: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=100 m/s$

## Tabas



Σχήμα 49: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=100 m/s$

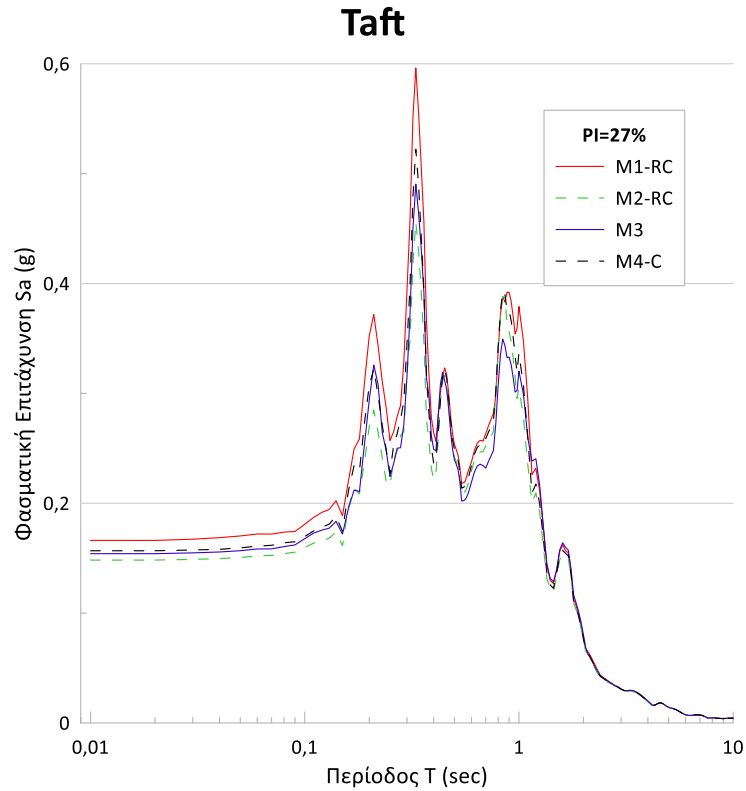
## Tabas



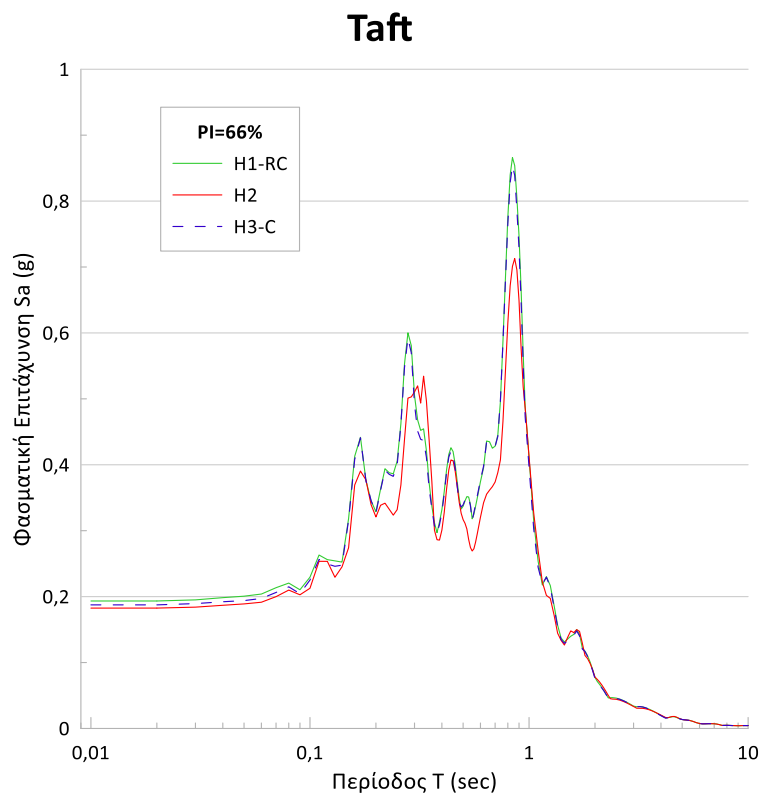
Σχήμα 50: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=100 m/s$



Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

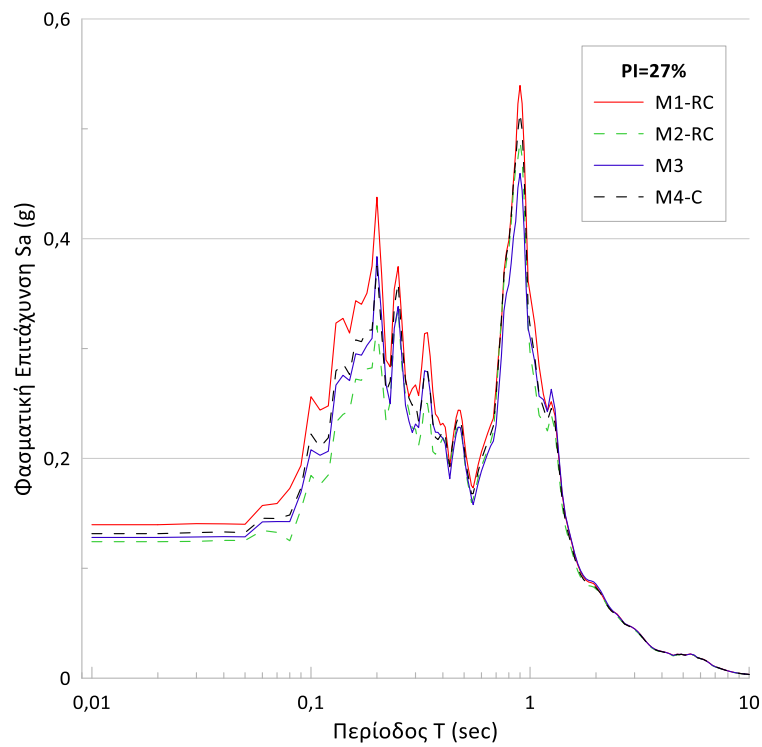


Σχήμα 51: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=150\text{ m/s}$



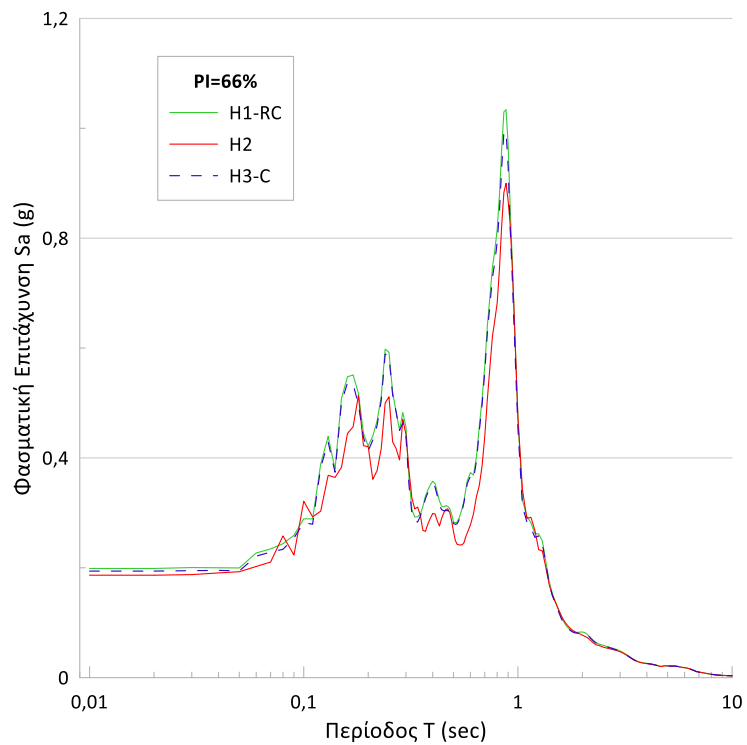
Σχήμα 52: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=150\text{ m/s}$

## Tabas



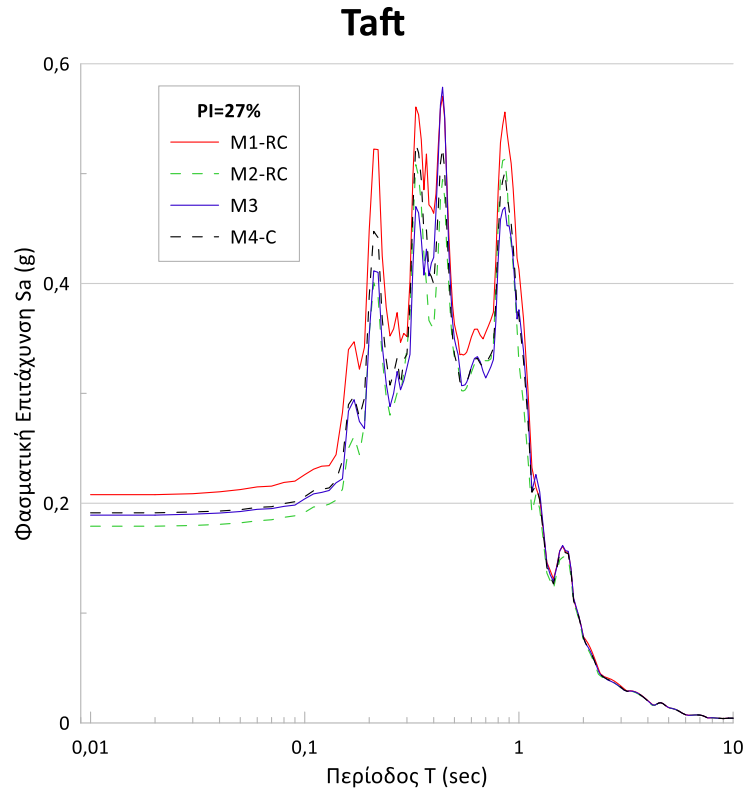
Σχήμα 53: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=150$  m/s

## Tabas

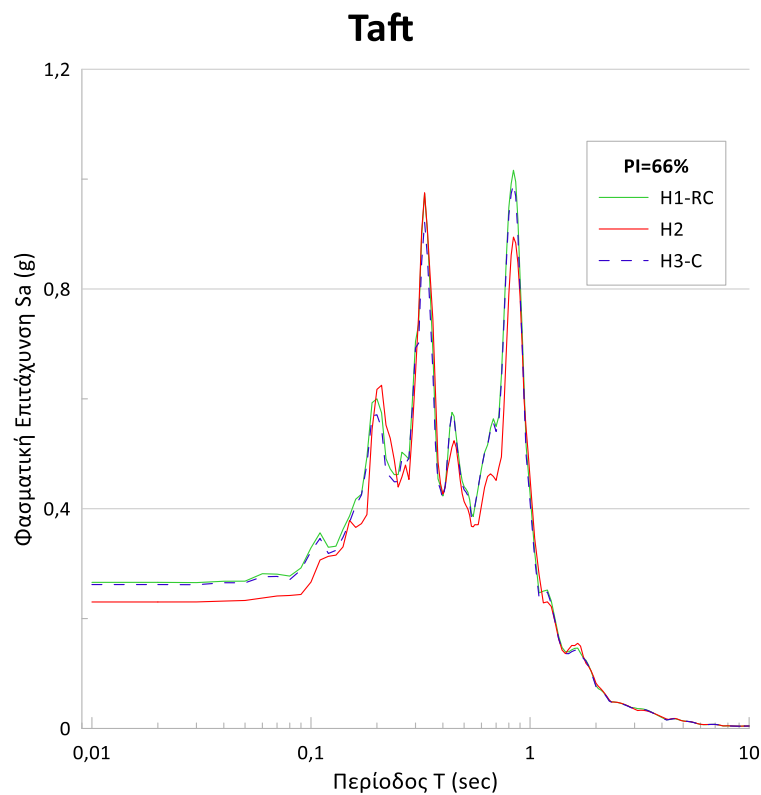


Σχήμα 54: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=150$  m/s

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

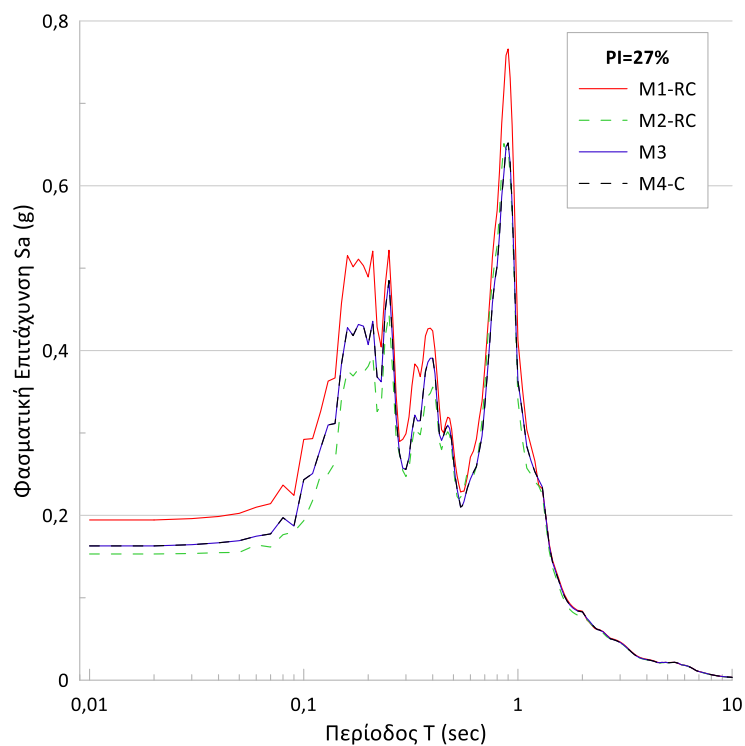


Σχήμα 55: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=100-180$  m/s



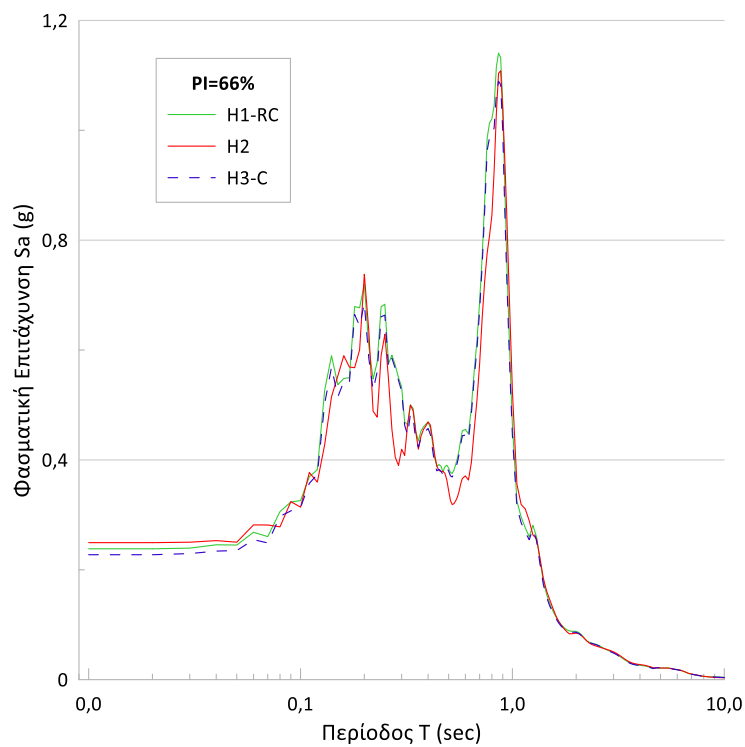
Σχήμα 56: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=100-180$  m/s

## Tabas



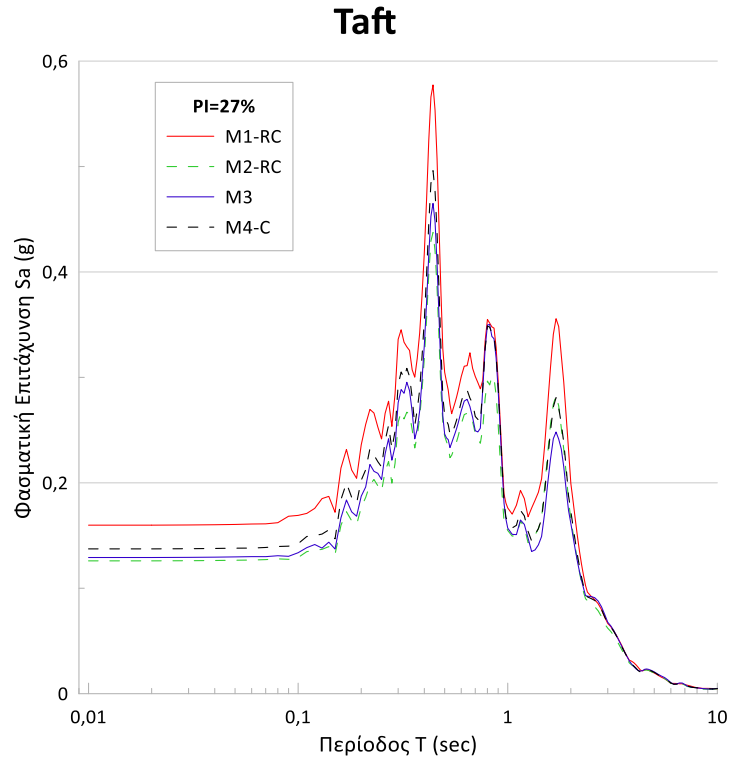
Σχήμα 57: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=27\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=100-180 m/s$

## Tabas

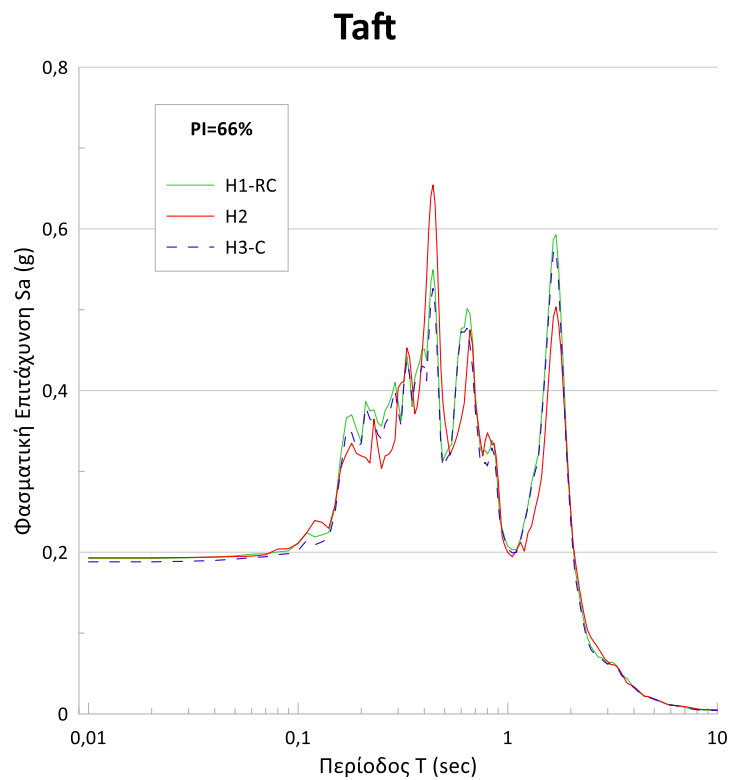


Σχήμα 58: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=100-180 m/s$

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

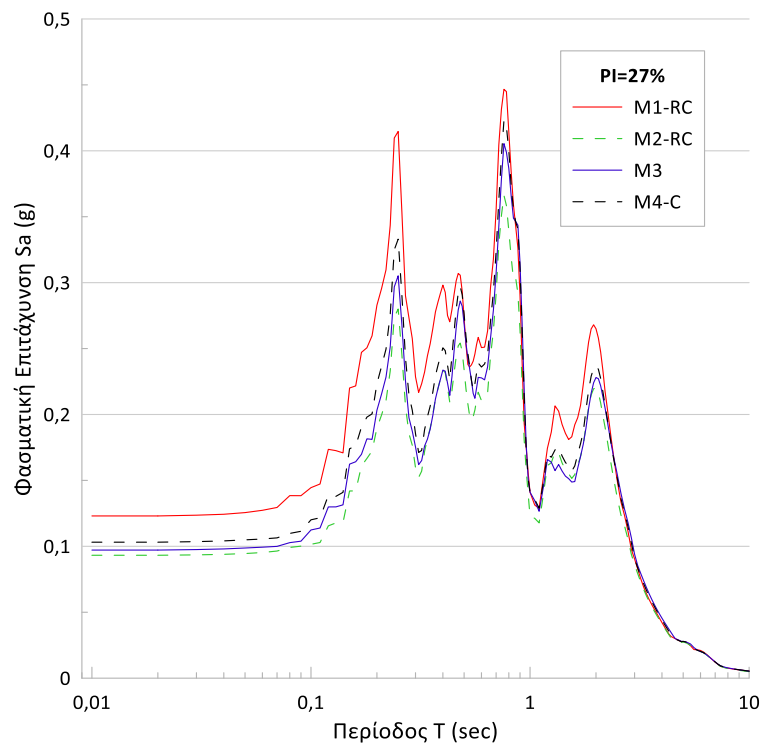


Σχήμα 59: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=27\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=100-180$  m/s



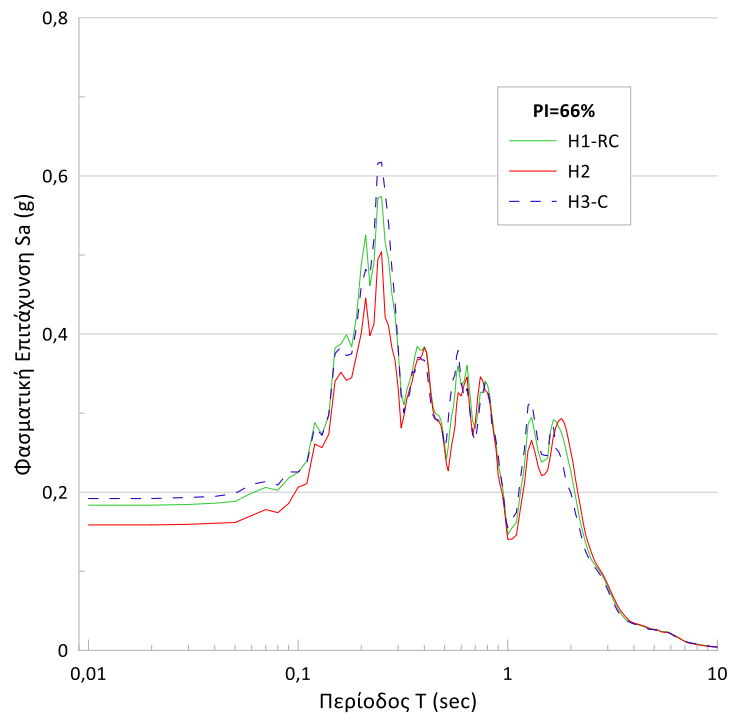
Σχήμα 60: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=66\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=100-180$  m/s

## Tabas



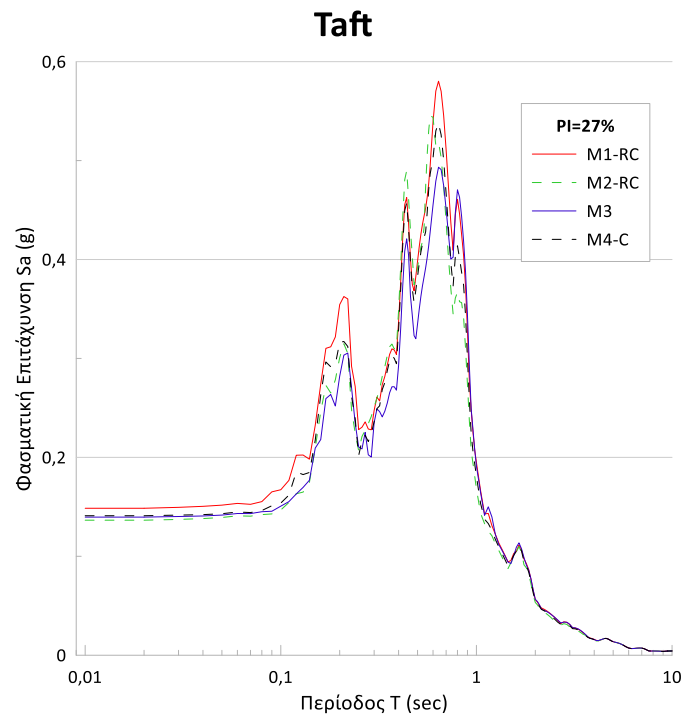
Σχήμα 61: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=27\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=100-180$  m/s

## Tabas

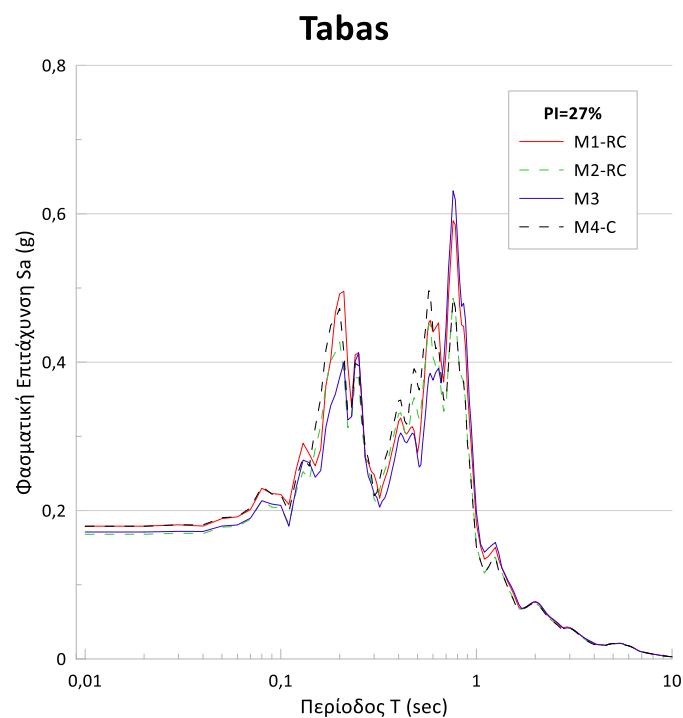


Σχήμα 62: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας D με  $PI=66\%$ ,  $z=60m$  και  $V_s=100-180$  m/s

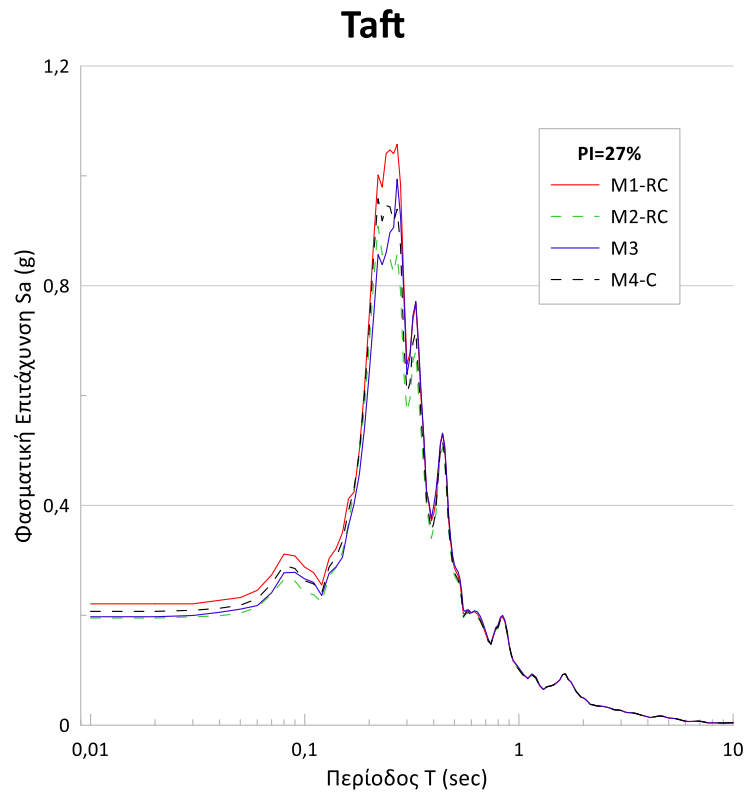
#### 4.1.3 Κατηγορία Εδάφους Ε



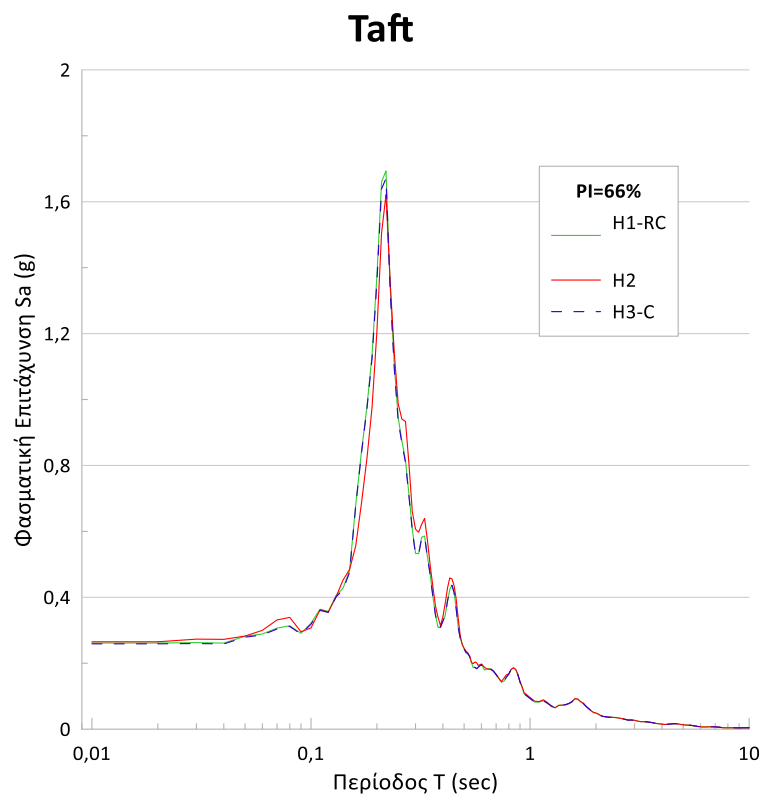
Σχήμα 63: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=50$  m/s



Σχήμα 64: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=50$  m/s



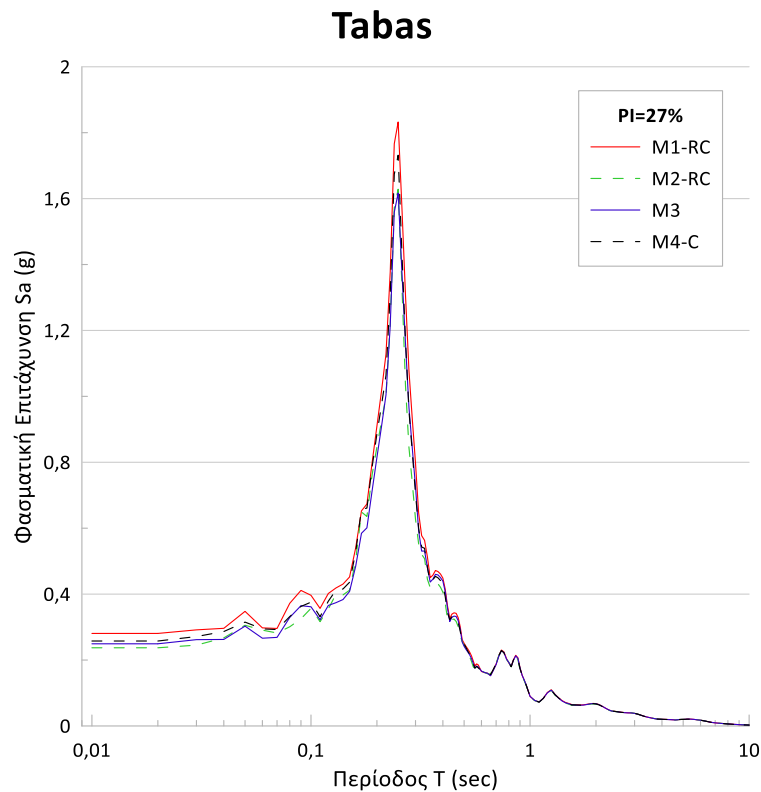
Σχήμα 65: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=100$  m/s



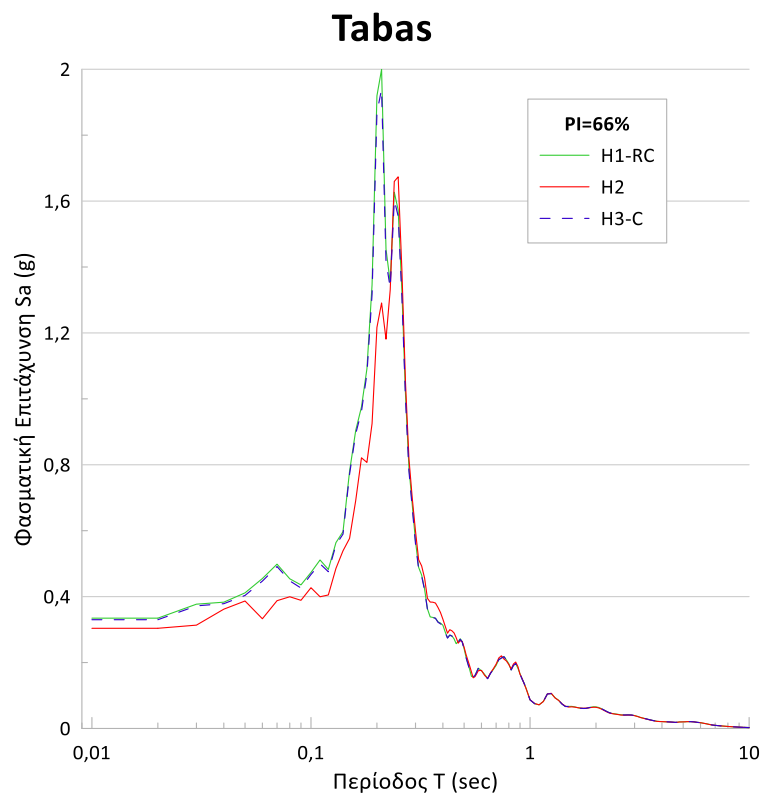
Σχήμα 66: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=100$  m/s



Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

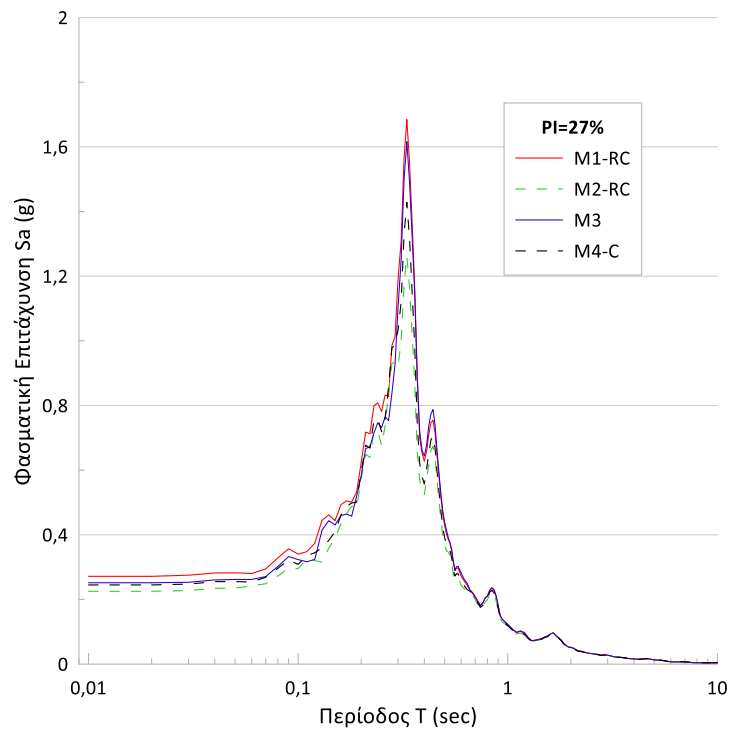


Σχήμα 67: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=100$  m/s



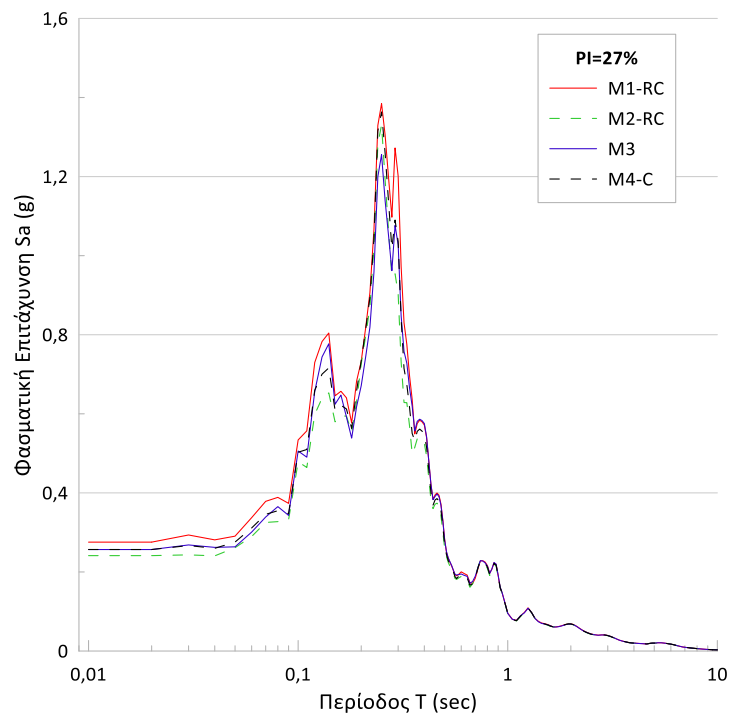
Σχήμα 68: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=100$  m/s

### Taft



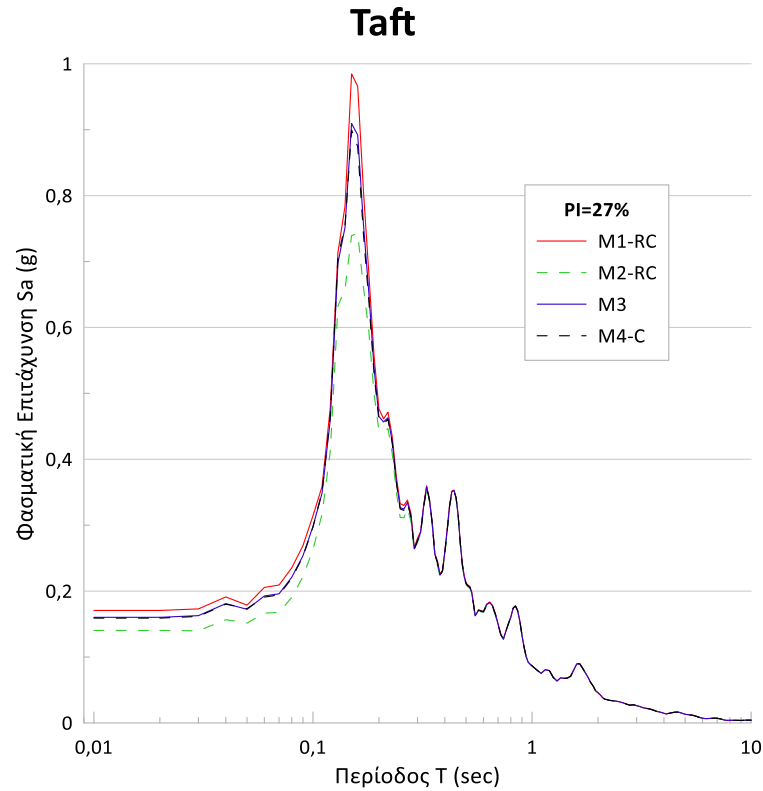
Σχήμα 69: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=50-100$  m/s

### Tabas

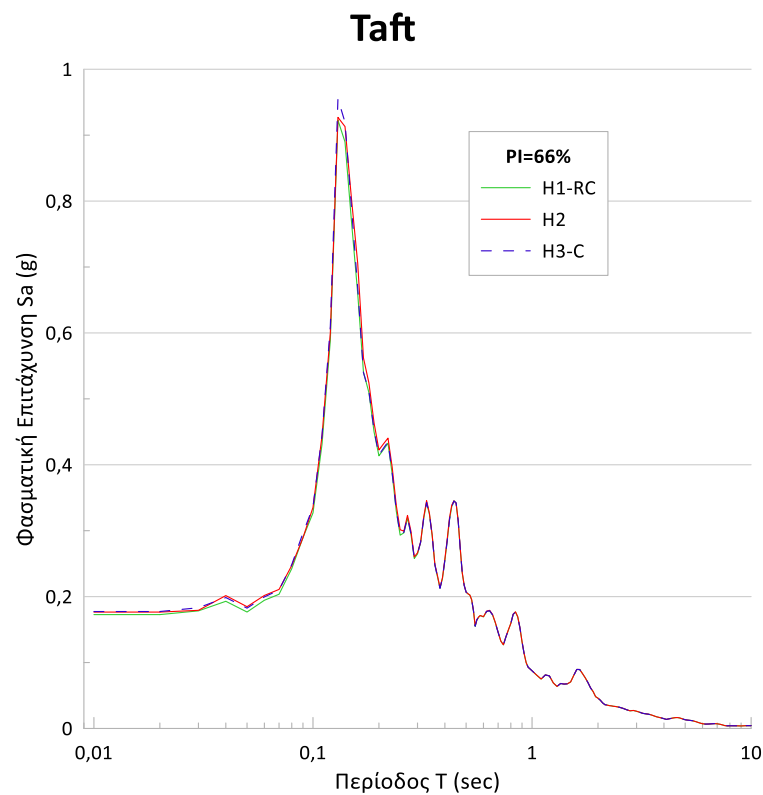


Σχήμα 70: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=50-100$  m/s

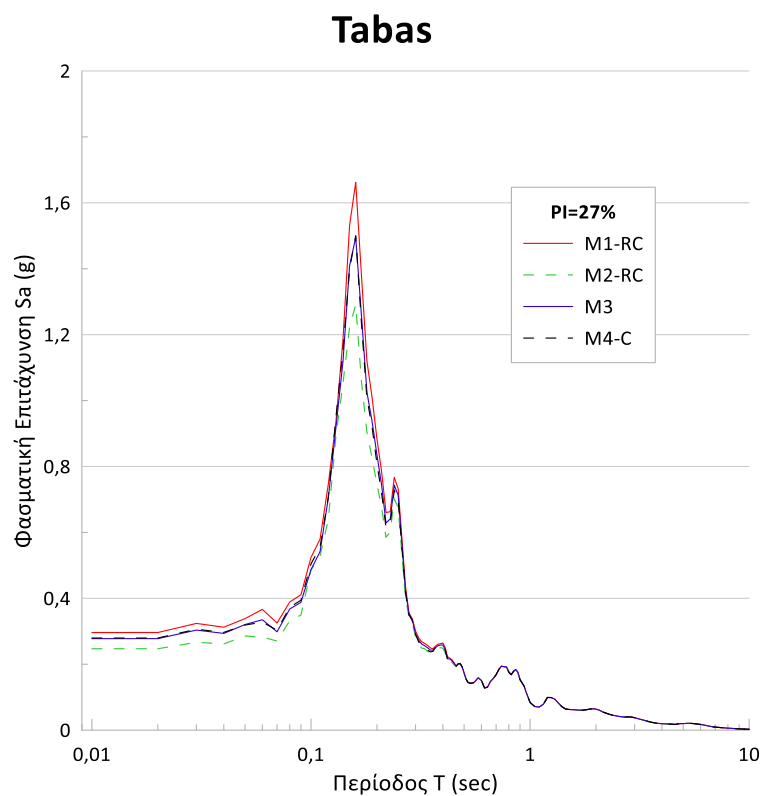
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



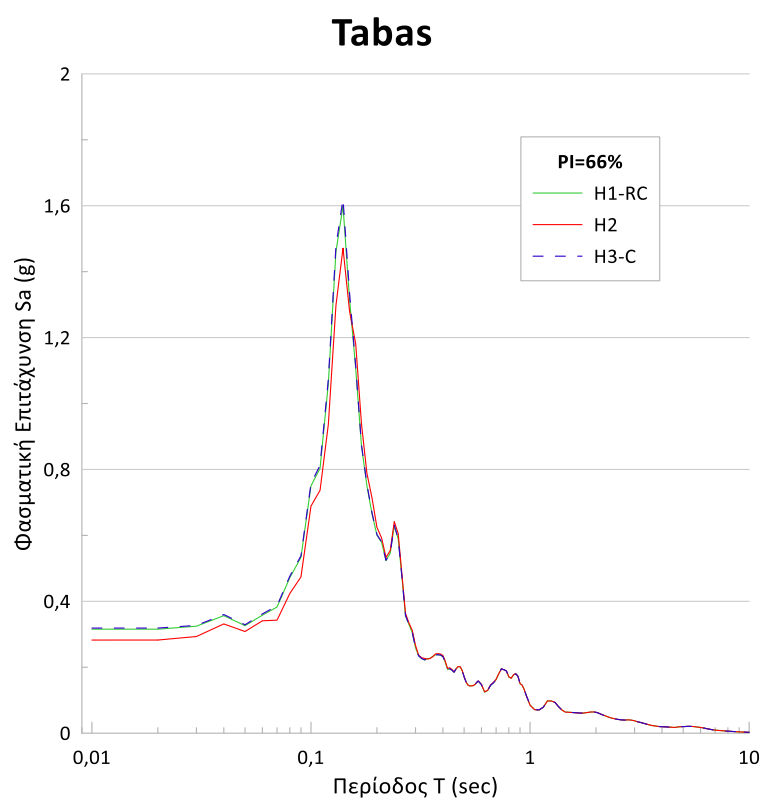
Σχήμα 71: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=150 m/s$



Σχήμα 72: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=150 m/s$

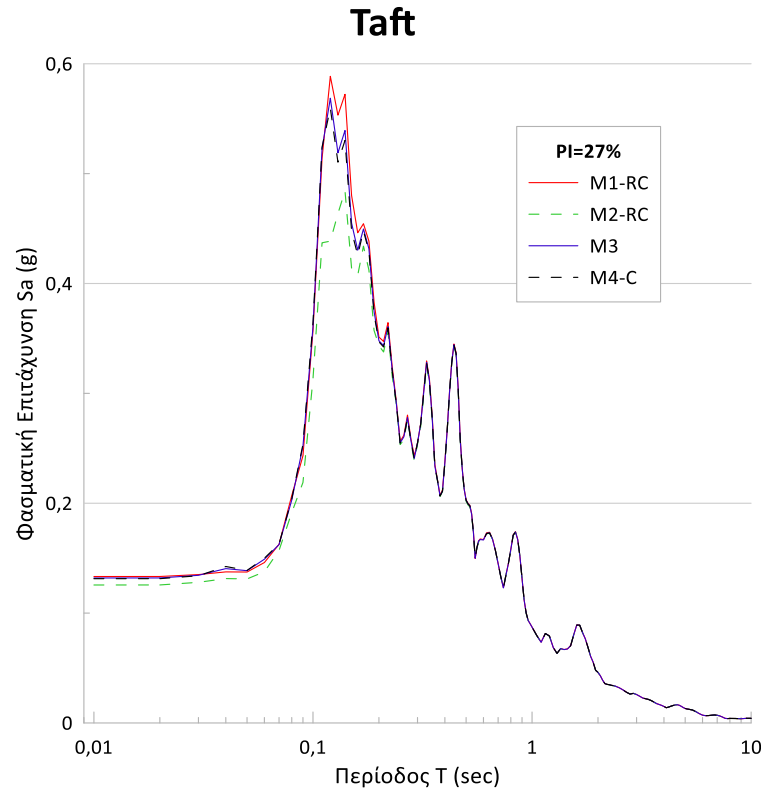


Σχήμα 73: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=150$  m/s

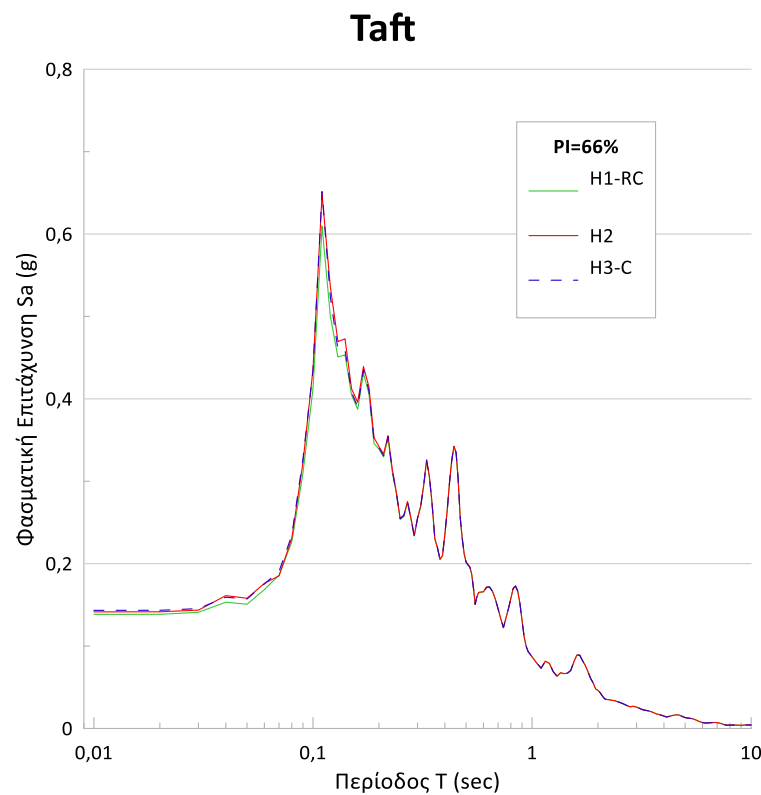


Σχήμα 74: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=150$  m/s

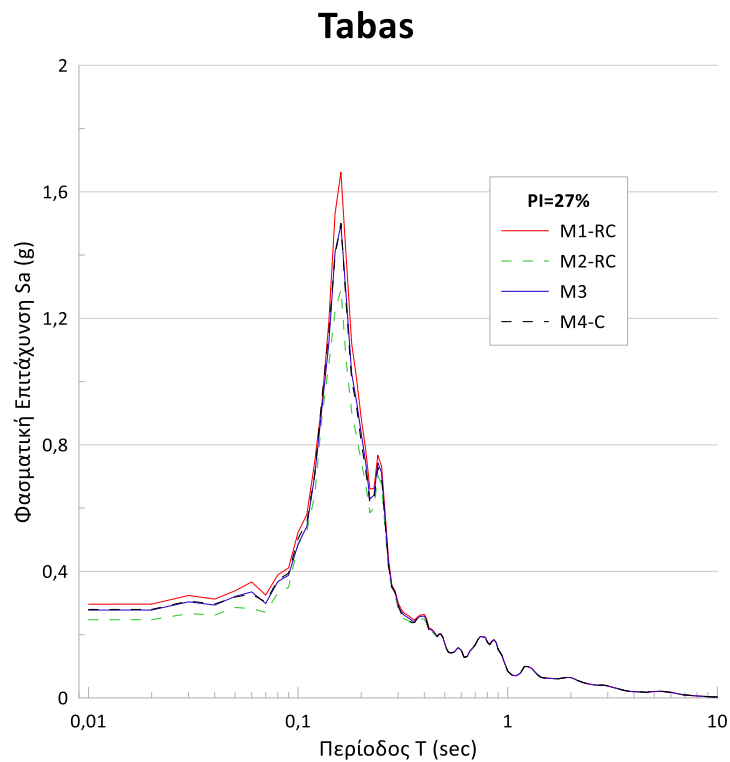
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



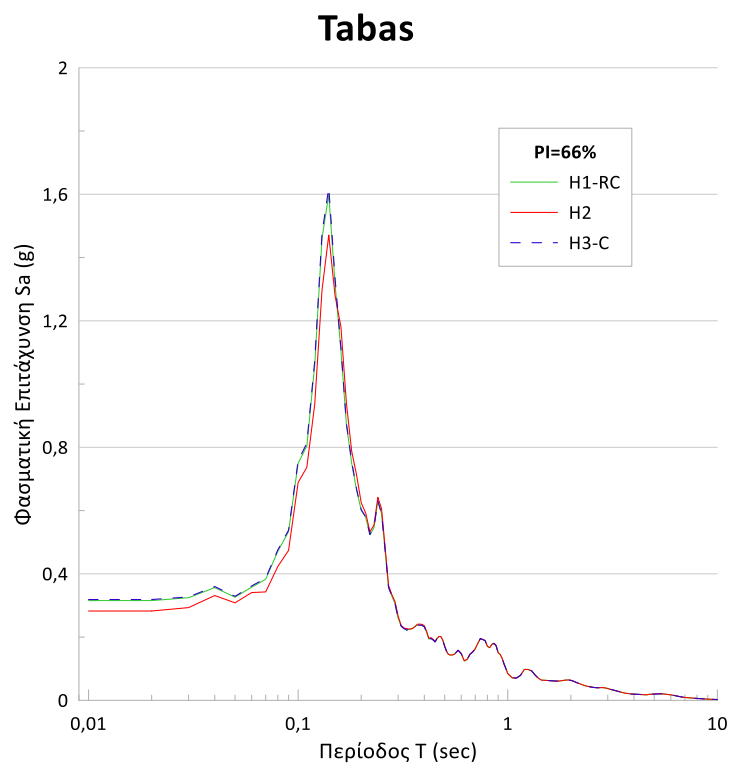
Σχήμα 75: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=180$  m/s



Σχήμα 76: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=180$  m/s

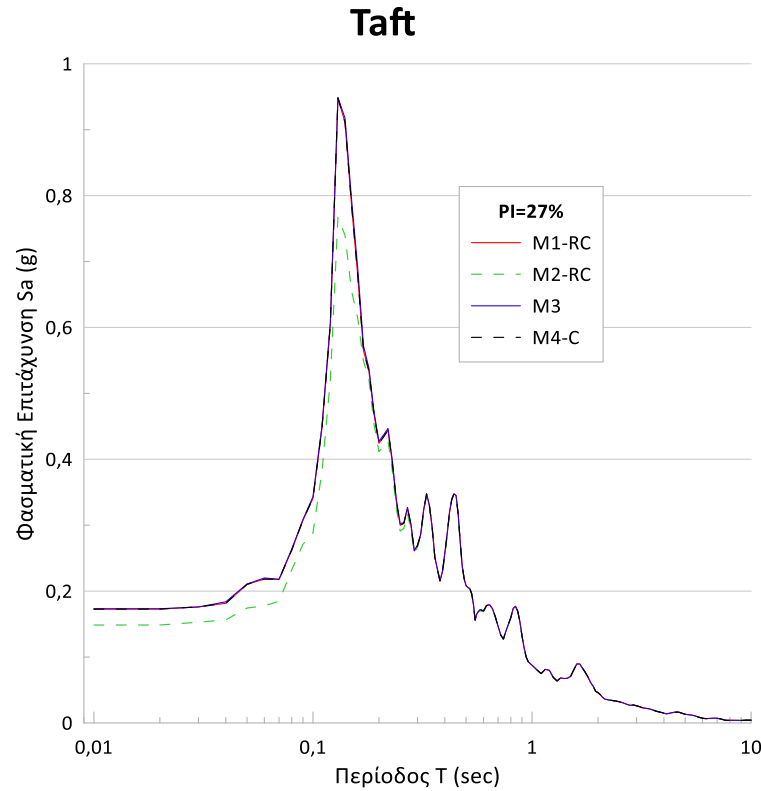


Σχήμα 77: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=180$  m/s

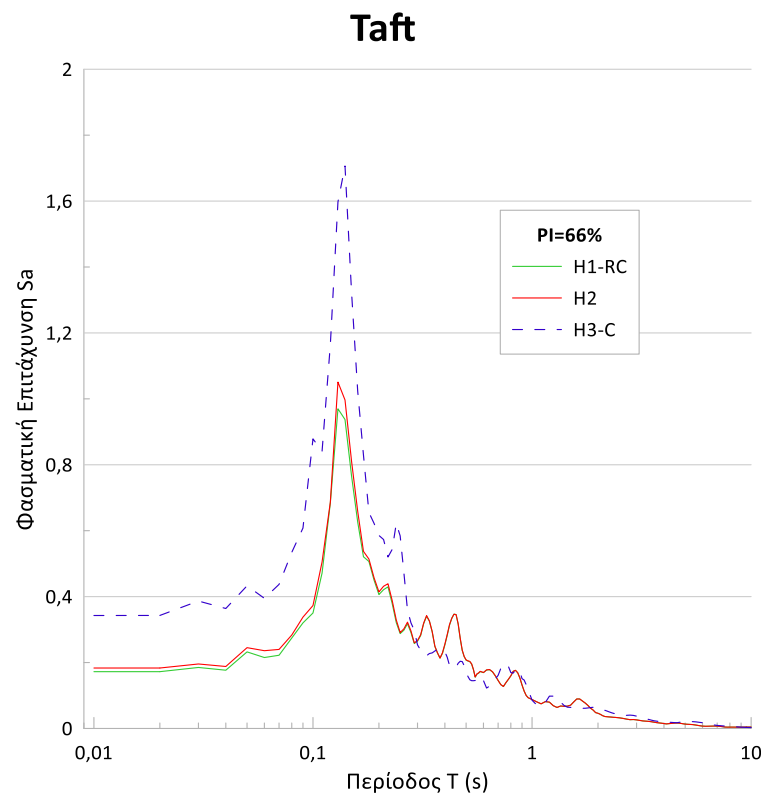


Σχήμα 78: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=180$  m/s

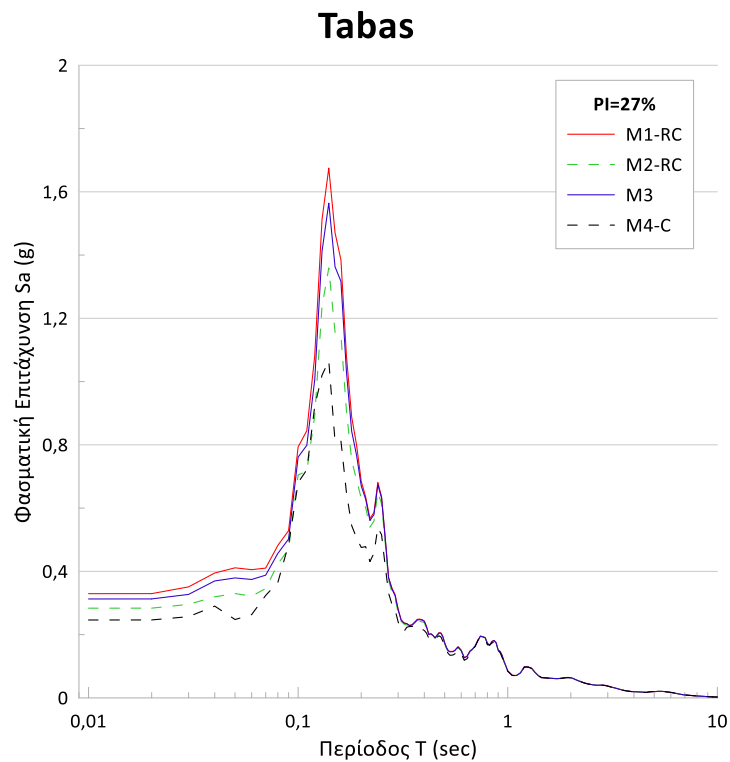
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



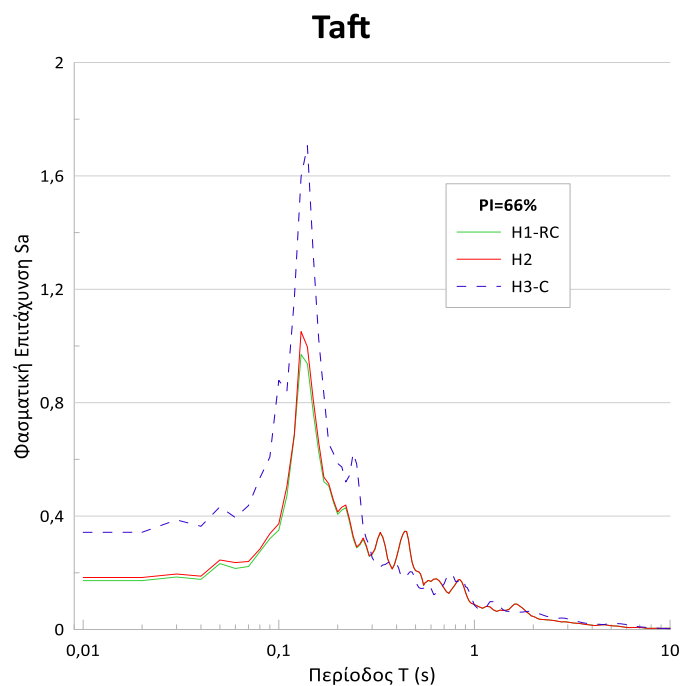
Σχήμα 79: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=100-180$  m/s



Σχήμα 80: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=100-180$  m/s



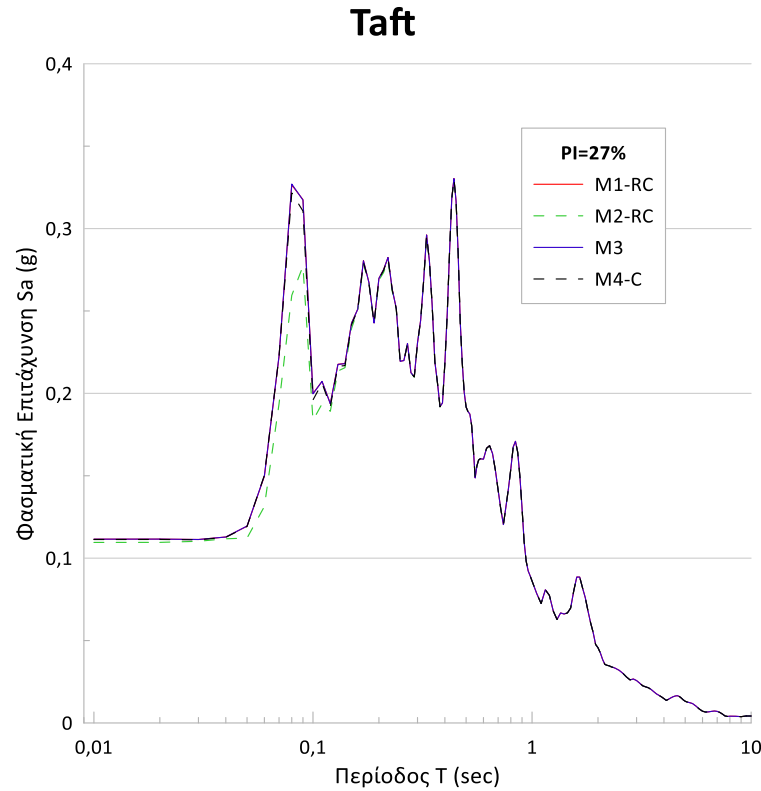
**Σχήμα 81 :** Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s = 100-180$  m/s



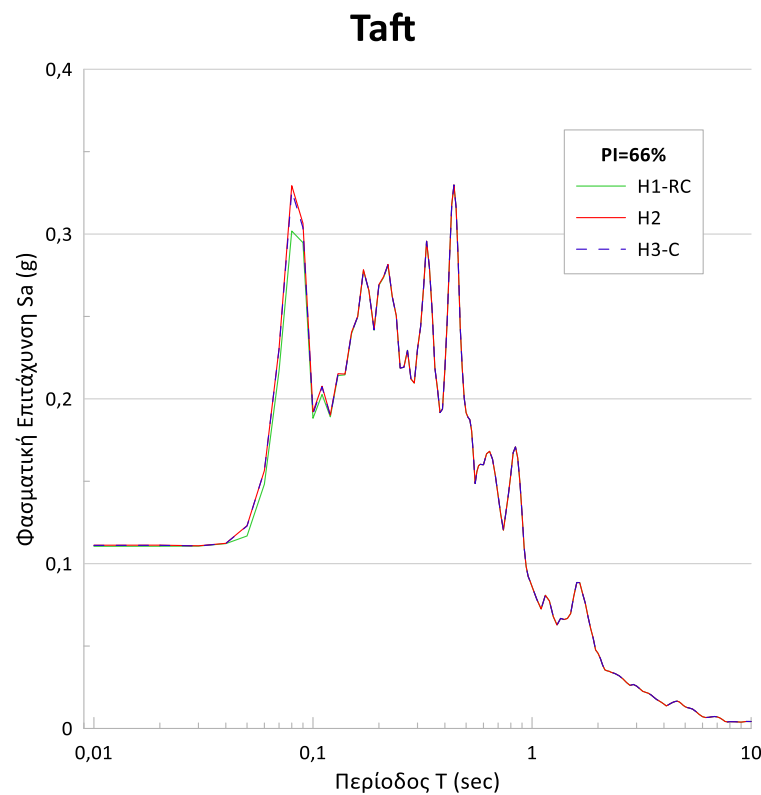
**Σχήμα 82:** Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s = 100-180$  m/s



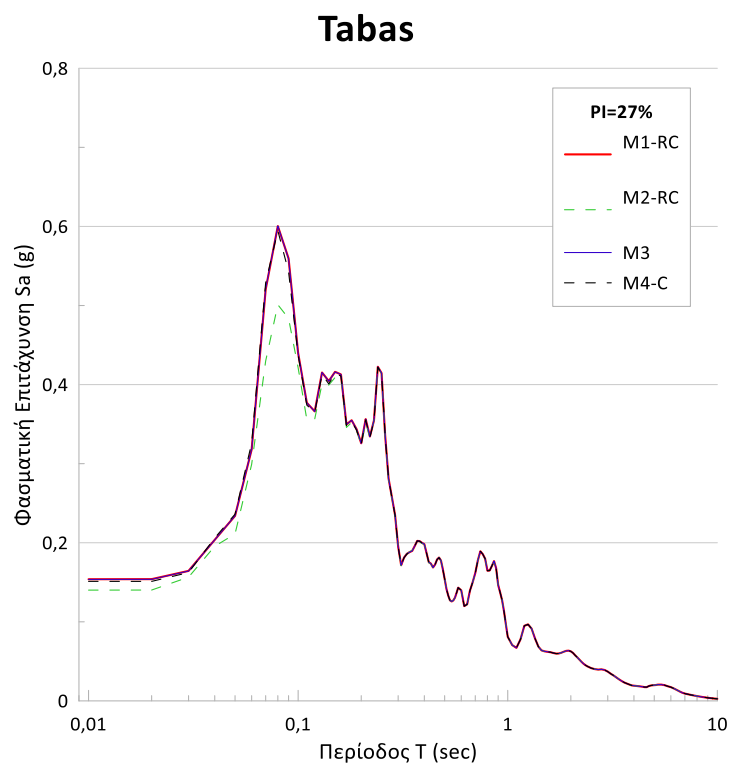
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



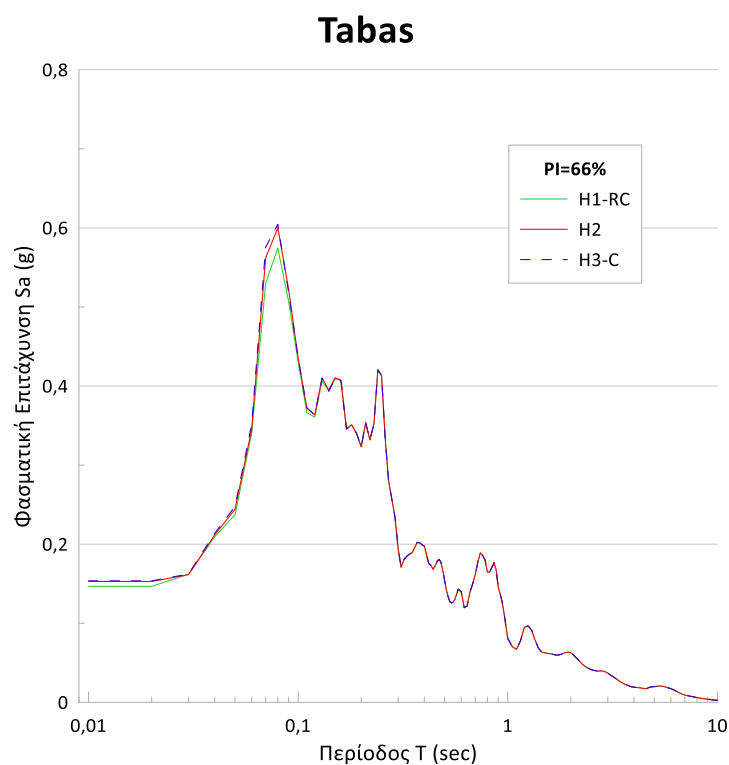
Σχήμα 83: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=270$  m/s



Σχήμα 84: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=270$  m/s



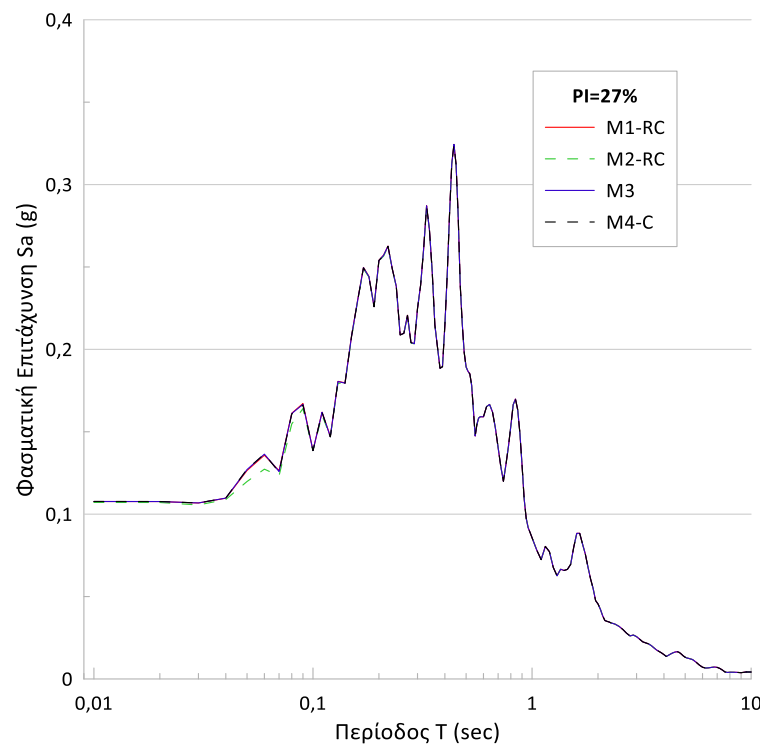
Σχήμα 85: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=270$  m/s



Σχήμα 86: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=270$  m/s

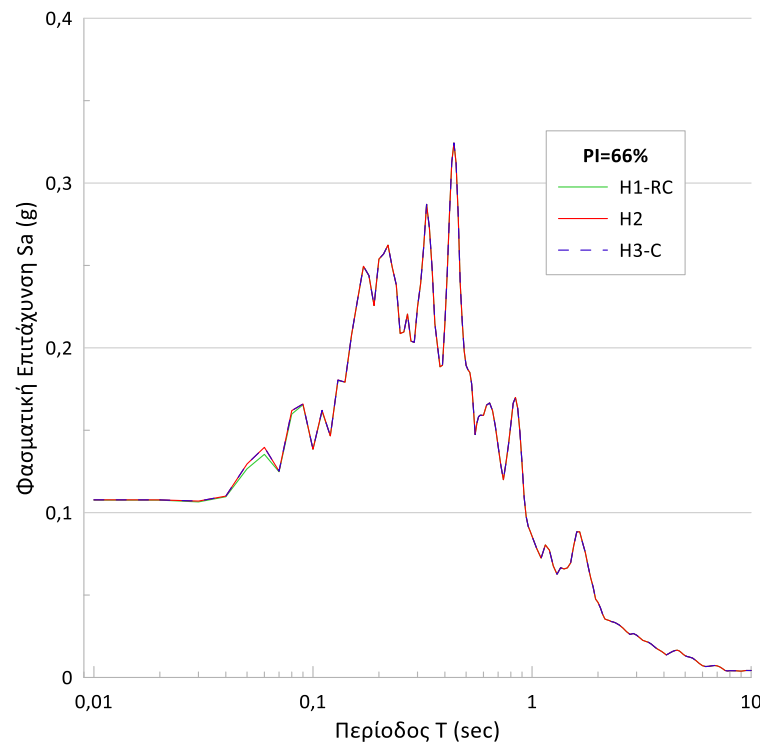
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Taft



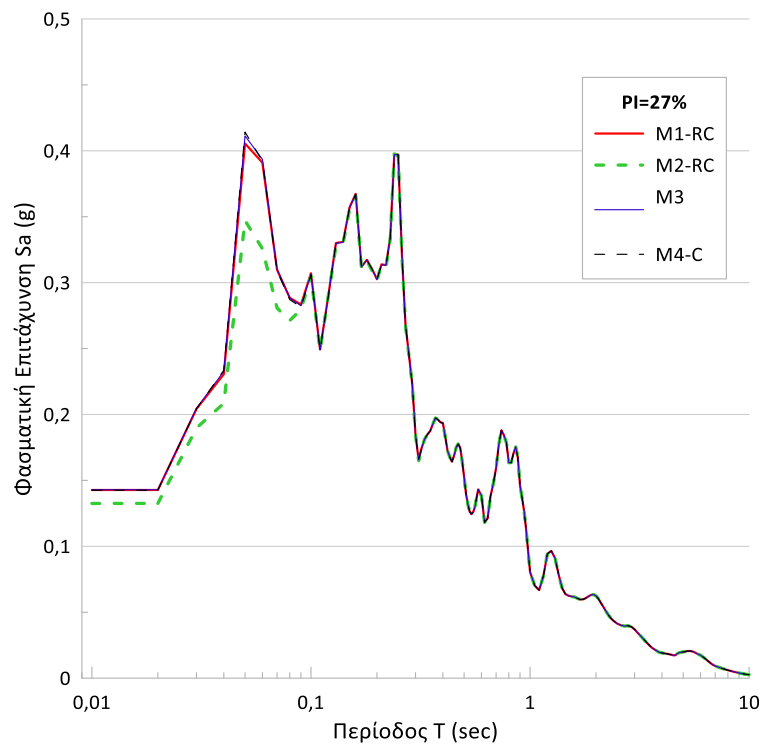
Σχήμα 87: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=360 m/s$

### Taft



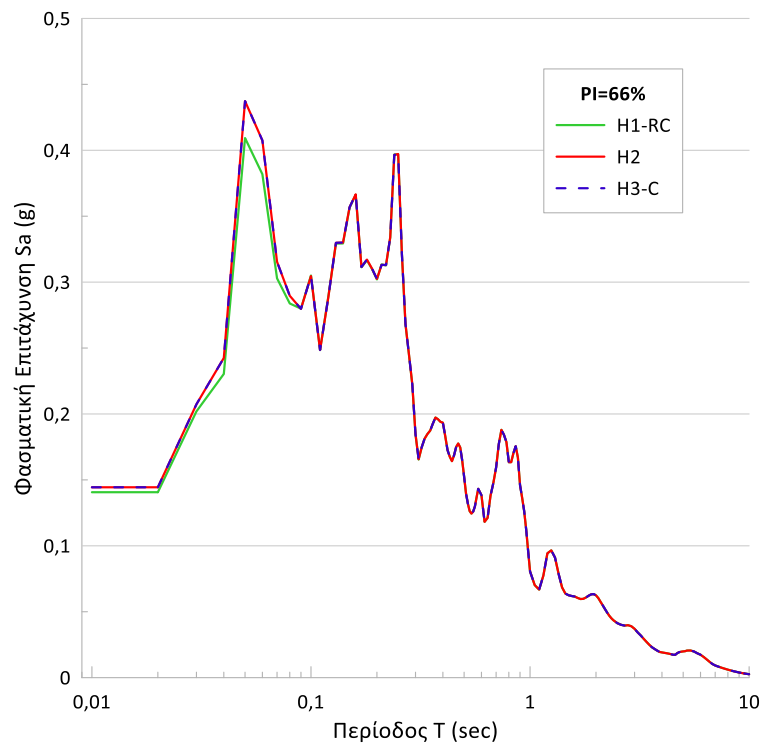
Σχήμα 88: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=360 m/s$

## Tabas



Σχήμα 89: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=360 m/s$

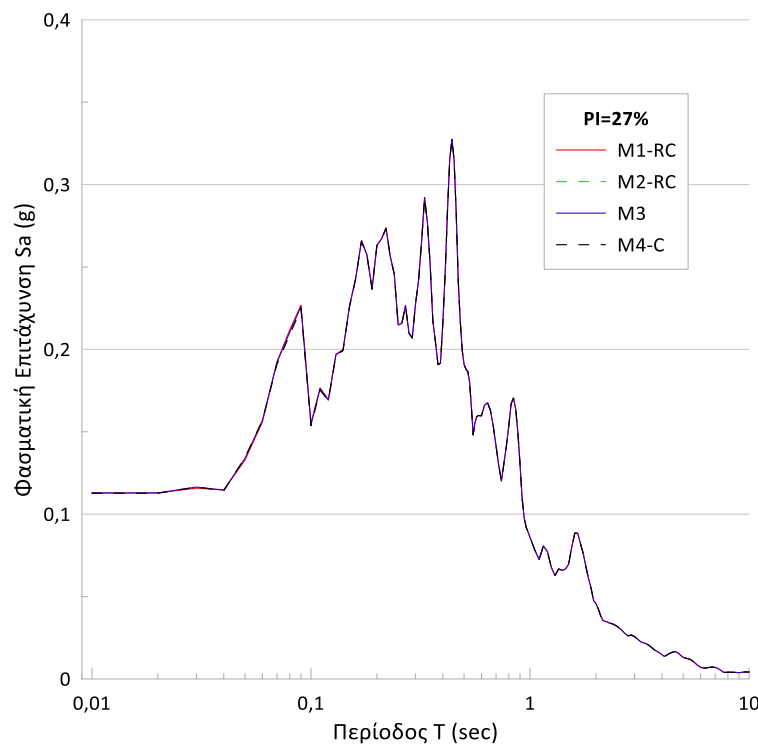
## Tabas



Σχήμα 90: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=360 m/s$

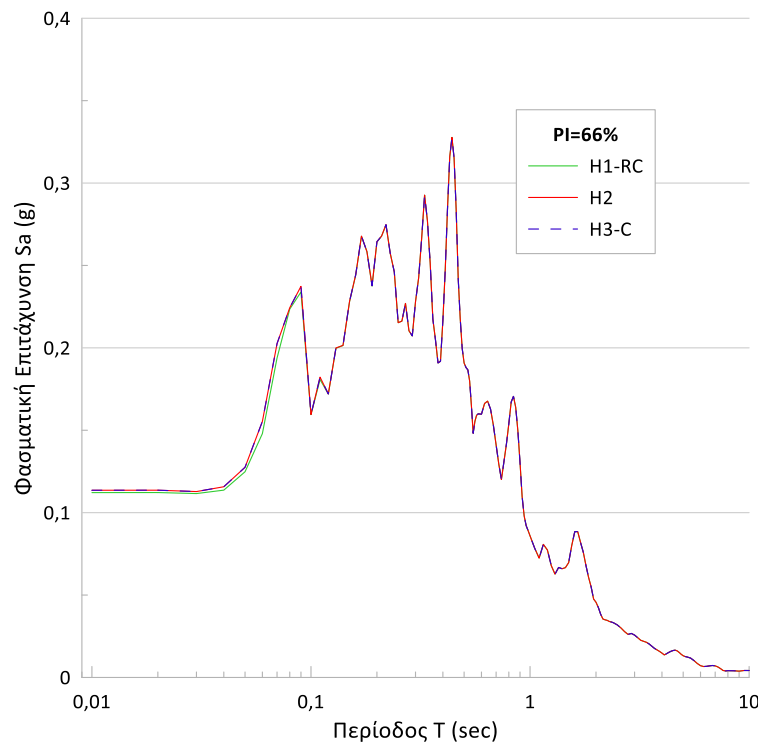
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Taft

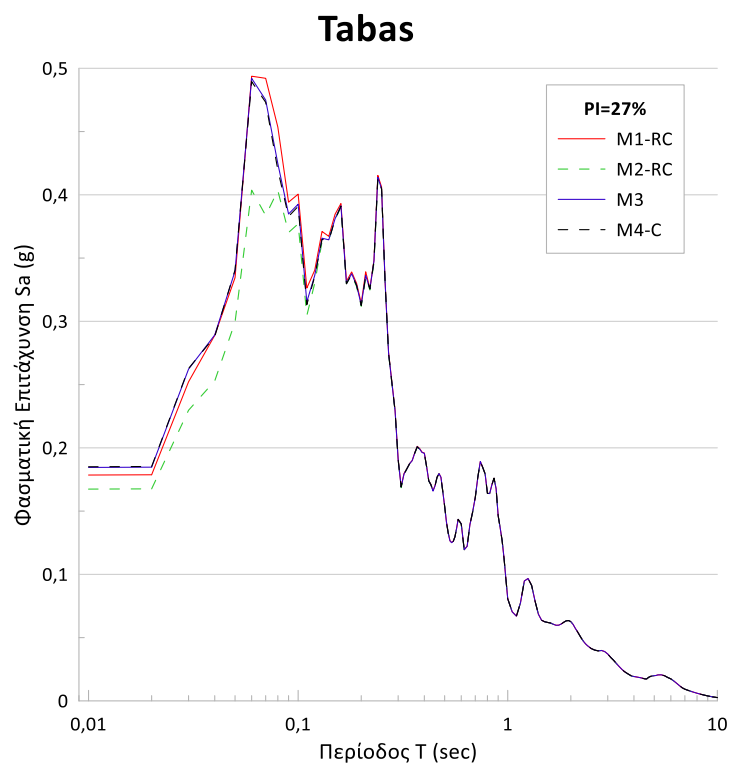


Σχήμα 91: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=180-360 m/s$

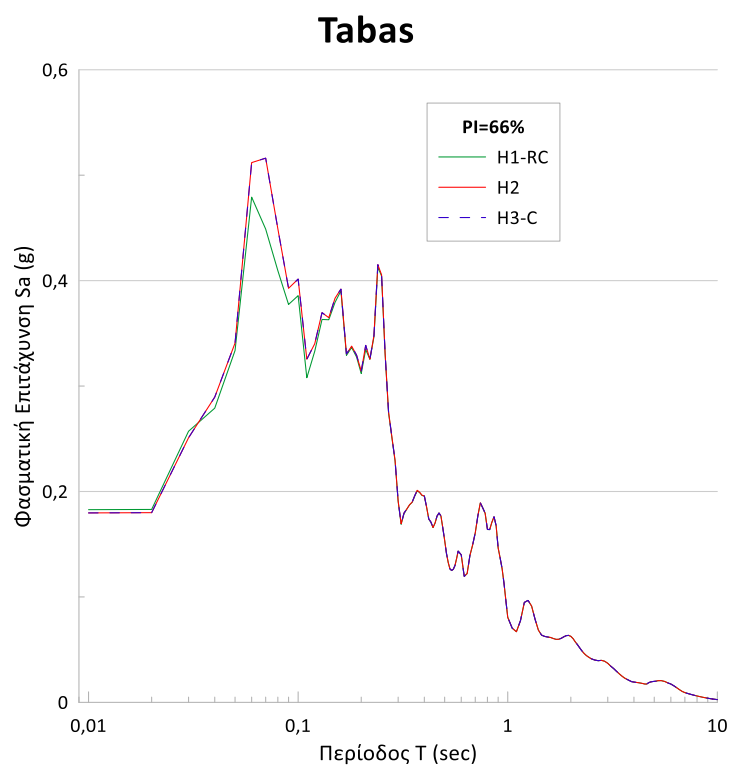
### Taft



Σχήμα 92: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=180-360 m/s$



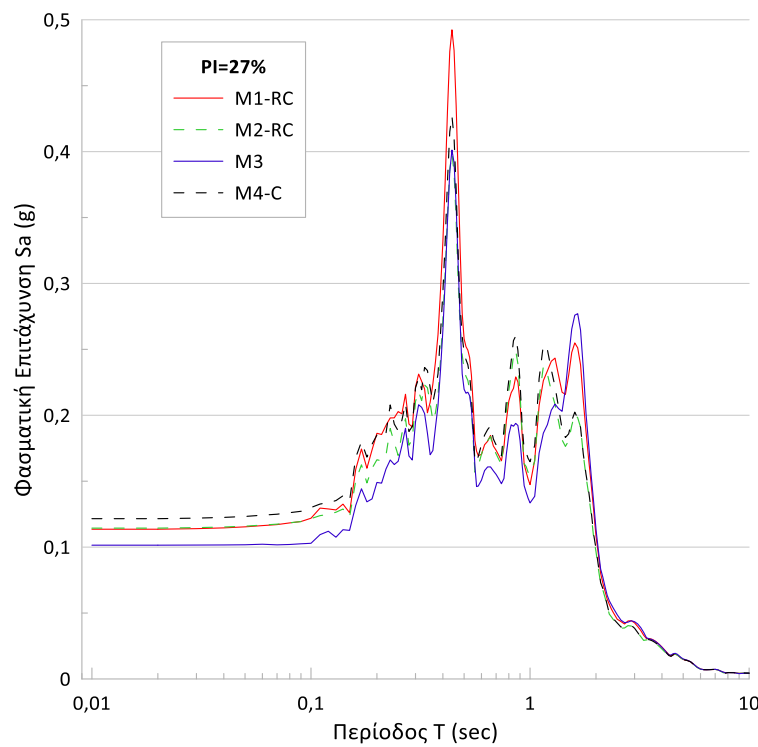
Σχήμα 93: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=180-360$  m/s



Σχήμα 94: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=180-360$  m/s

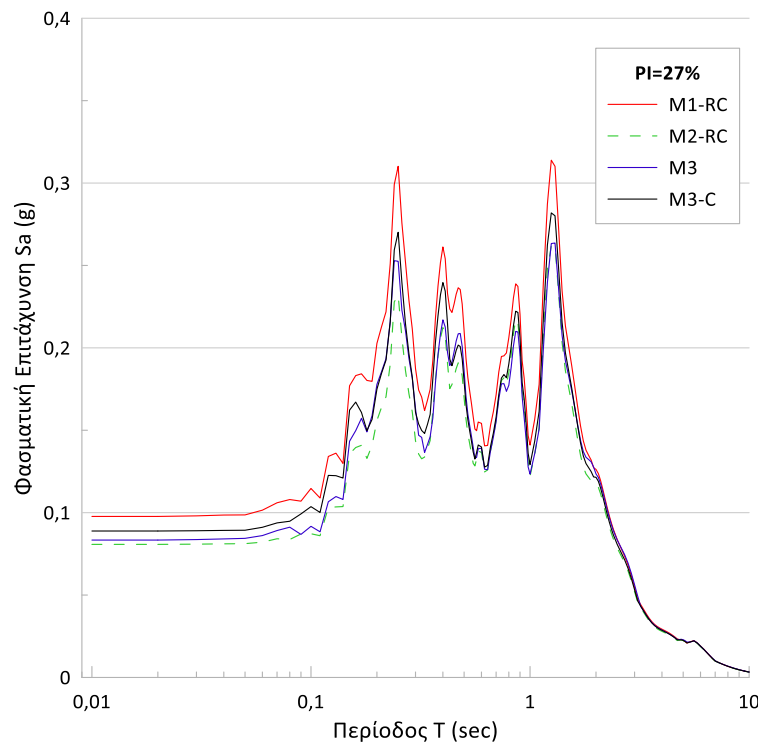
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Taft



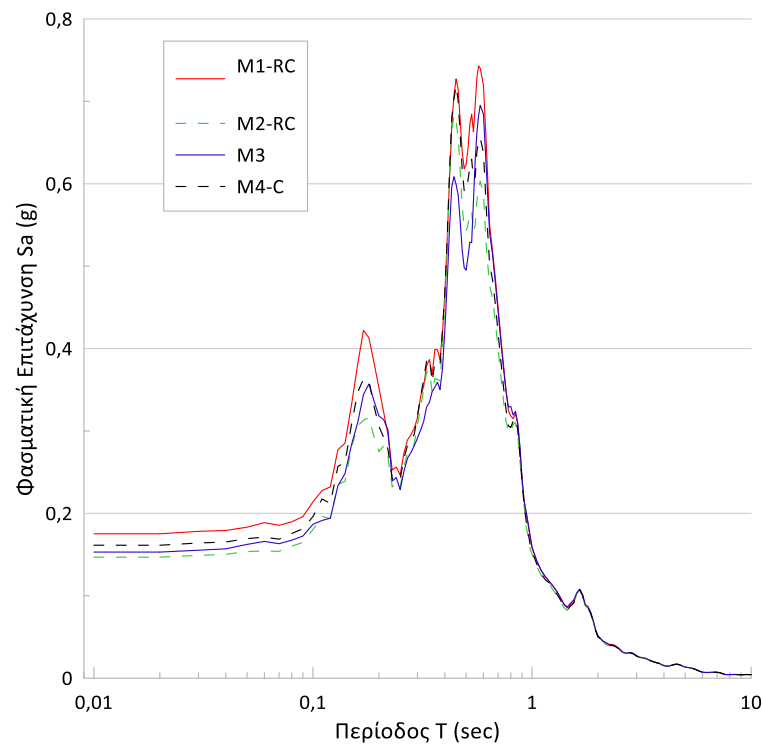
Σχήμα 95: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=10$ m και  $V_s=50$  m/s

### Tabas



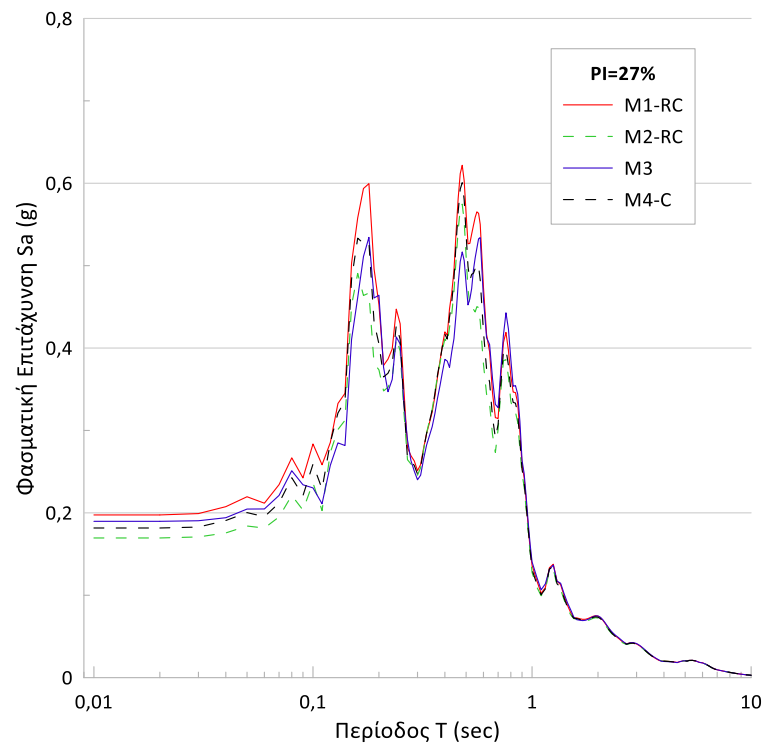
Σχήμα 96: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=10$ m και  $V_s=50$  m/s

## Taft



Σχήμα 97: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=100 m/s$

## Tabas

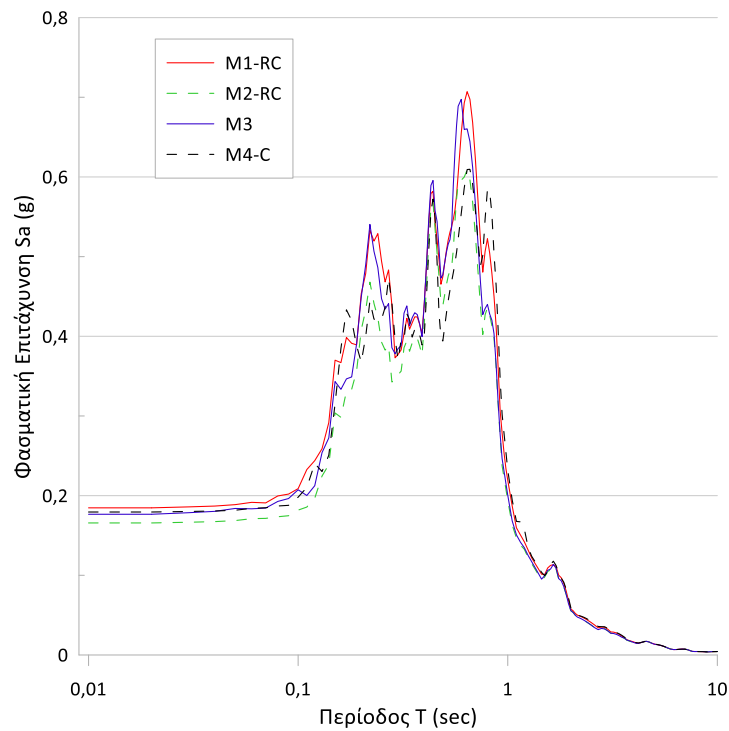


Σχήμα 98 Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=100 m/s$



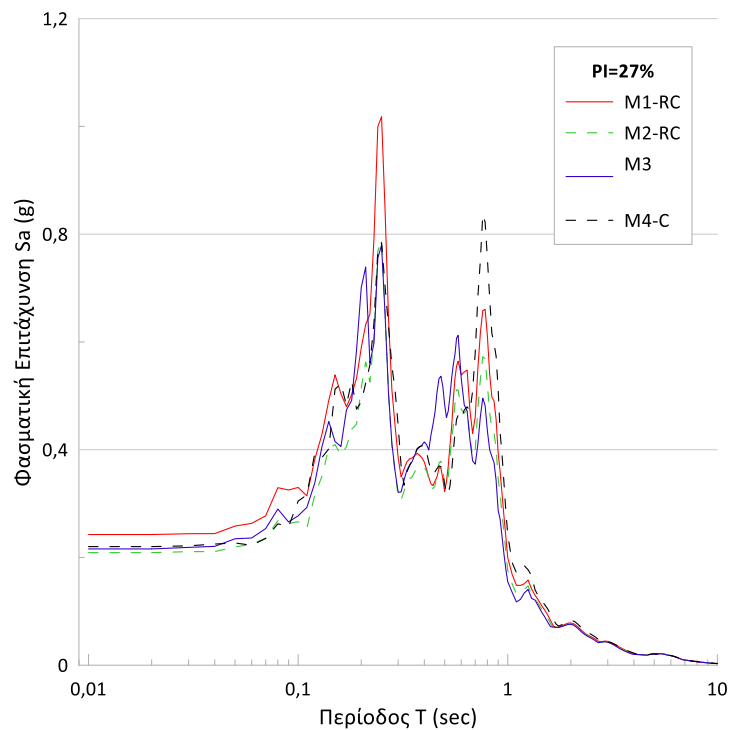
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Taft

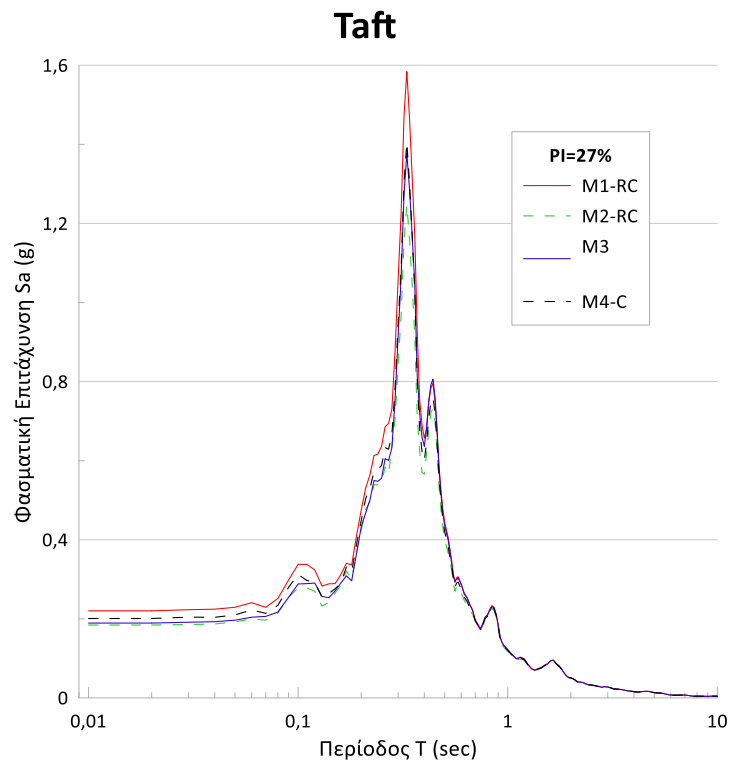


Σχήμα 99: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=50-100 m/s$

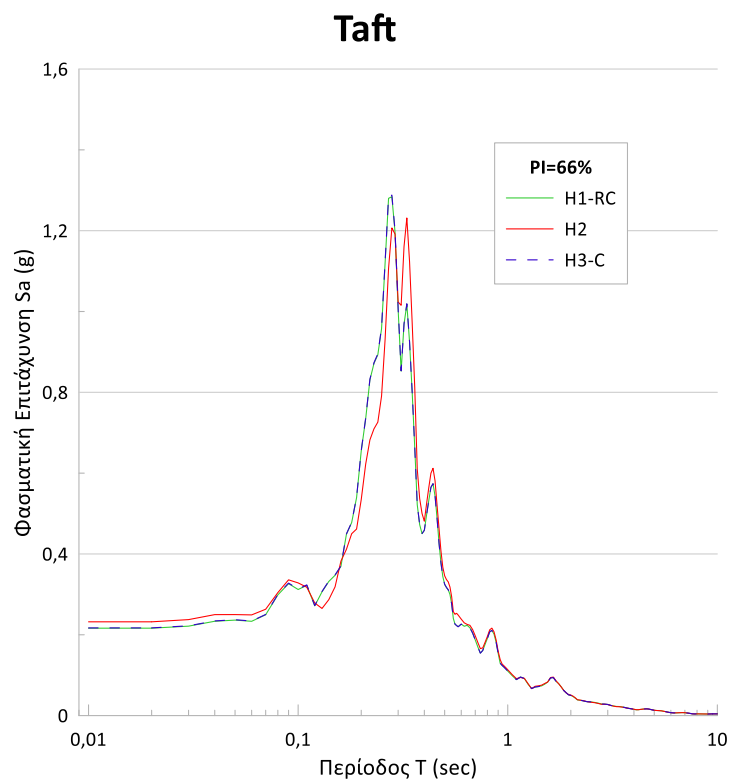
### Tabas



Σχήμα 100: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=50-100 m/s$

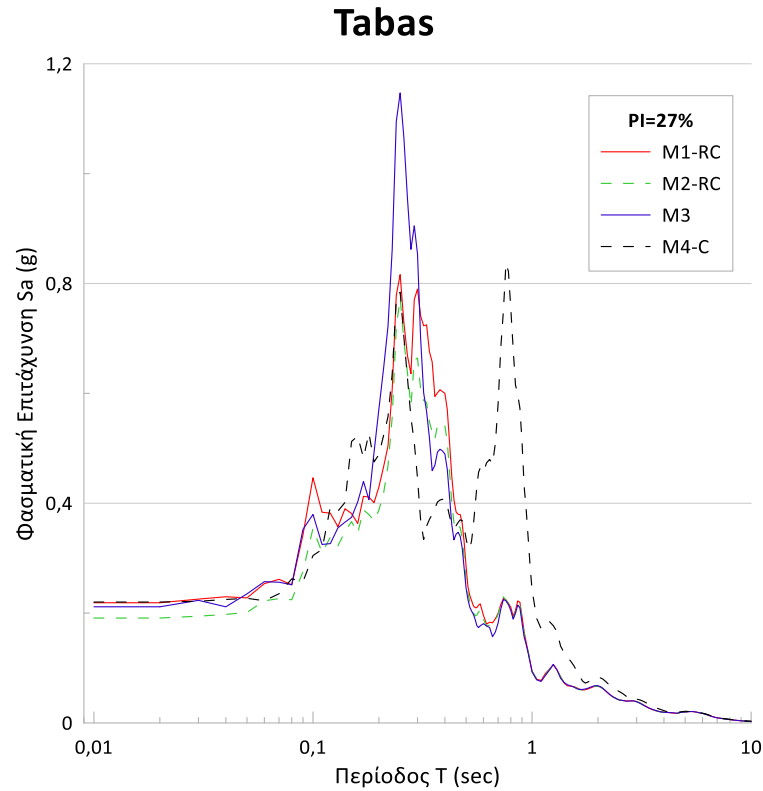


Σχήμα 101: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=150$  m/s

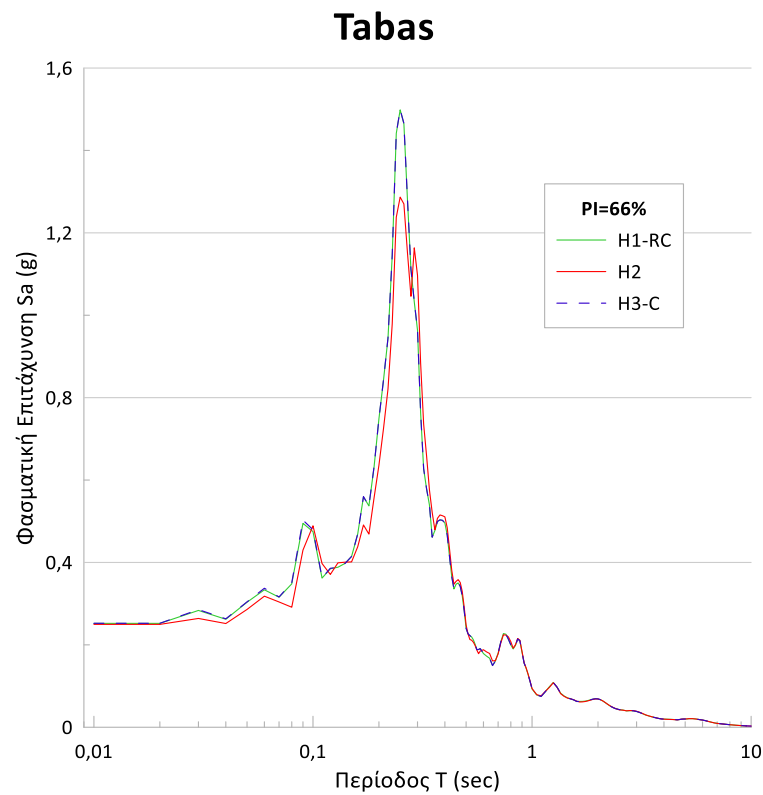


Σχήμα 102: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=150$  m/s

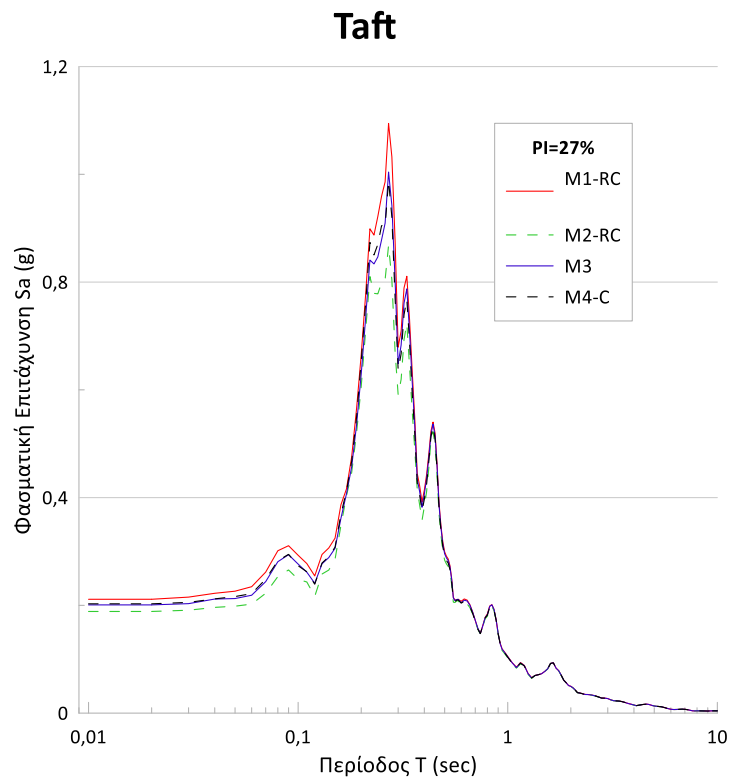
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



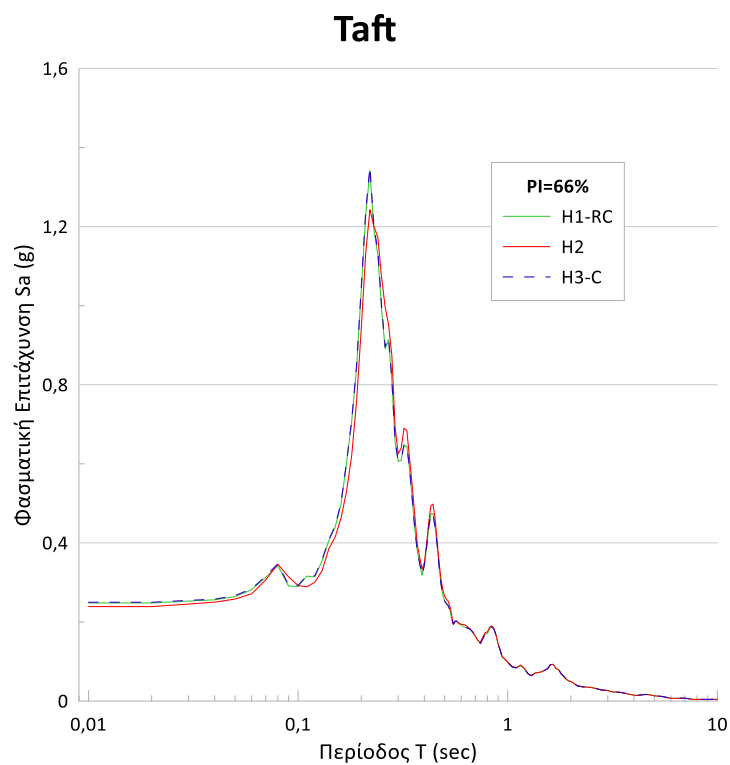
Σχήμα 103: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=150 m/s$



Σχήμα 104: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=150 m/s$

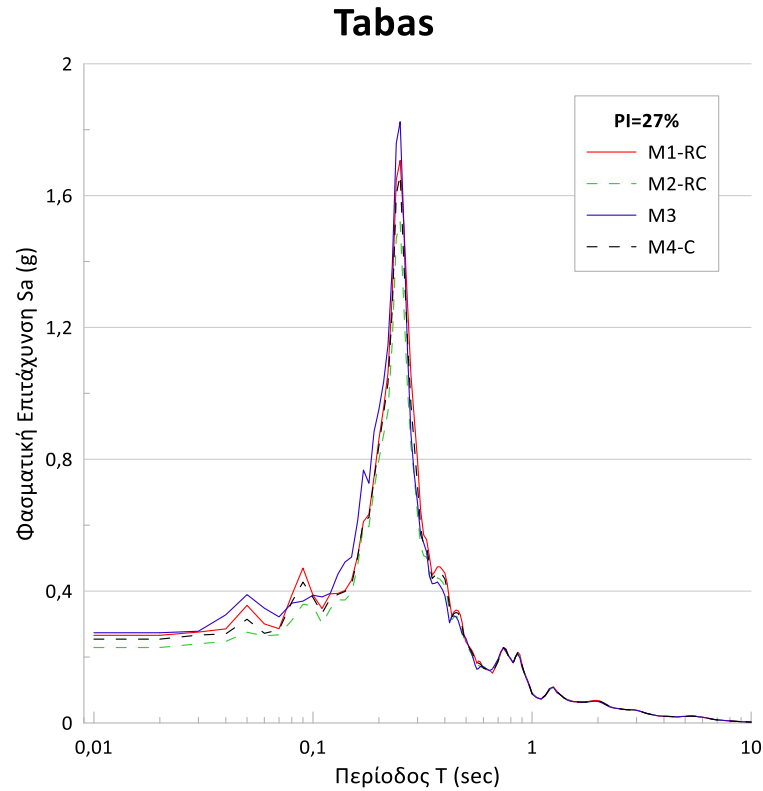


**Σχήμα 105:** Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=180 m/s$

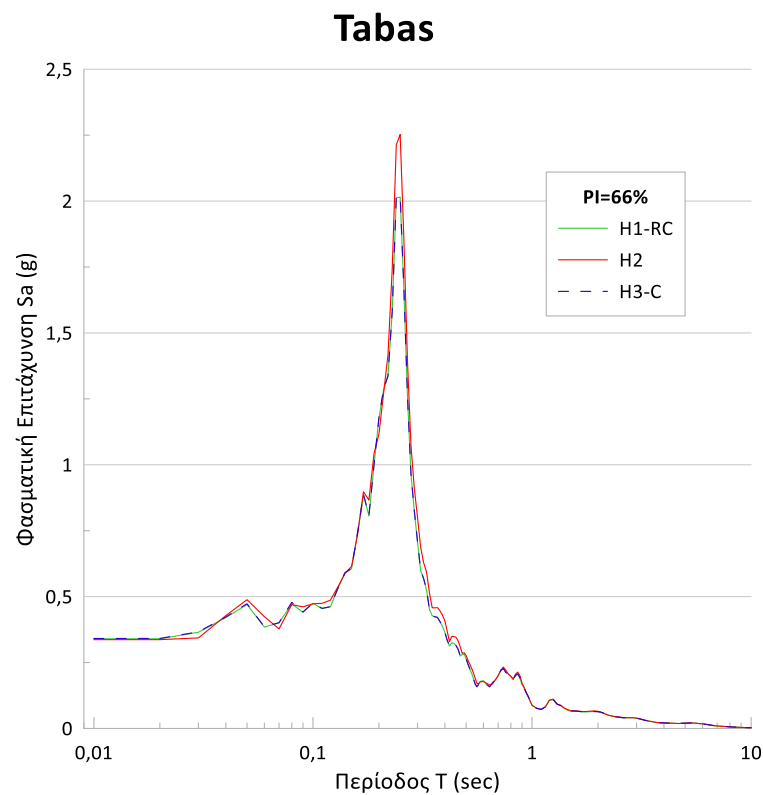


**Σχήμα 106:** Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=180 m/s$

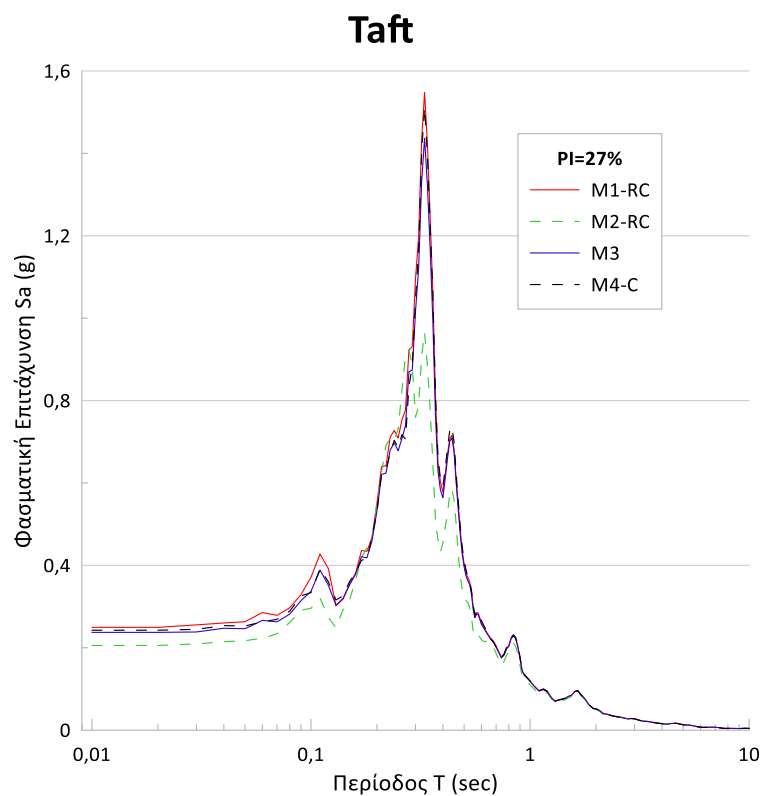
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



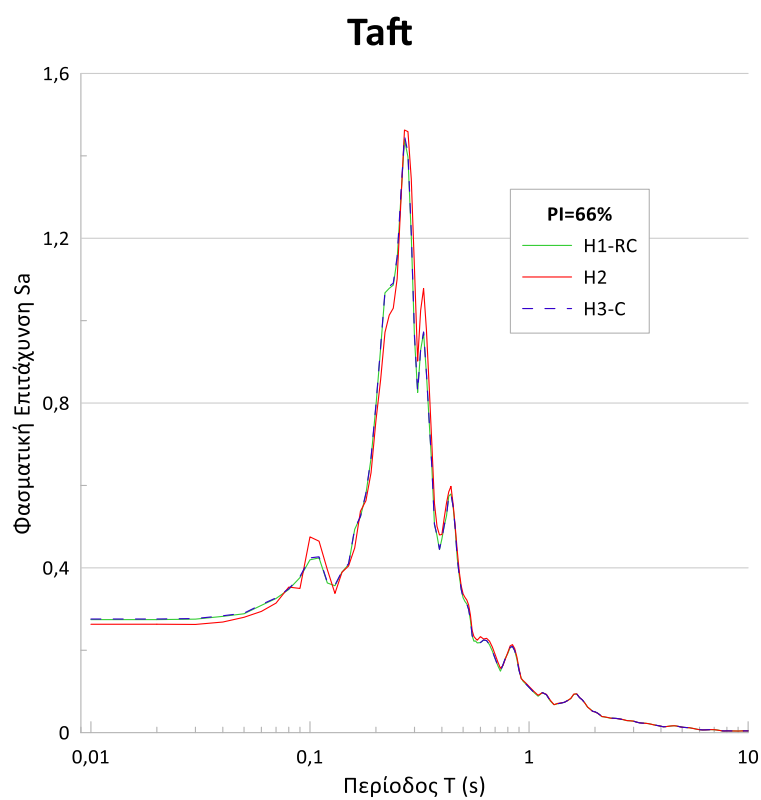
Σχήμα 107: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=180\text{ m/s}$



Σχήμα 108: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=180\text{ m/s}$

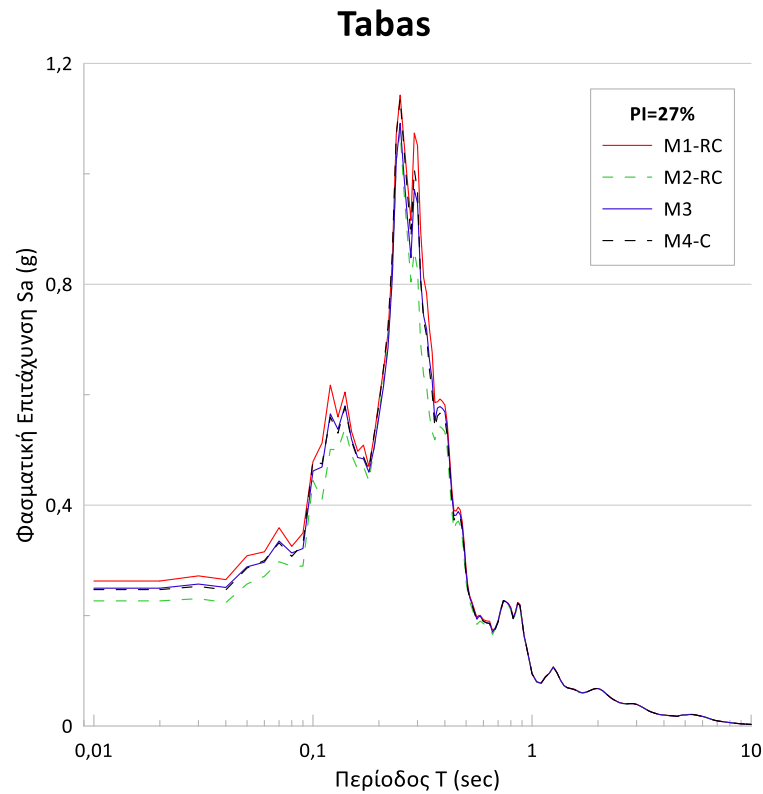


Σχήμα 109: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=100-180$  m/s

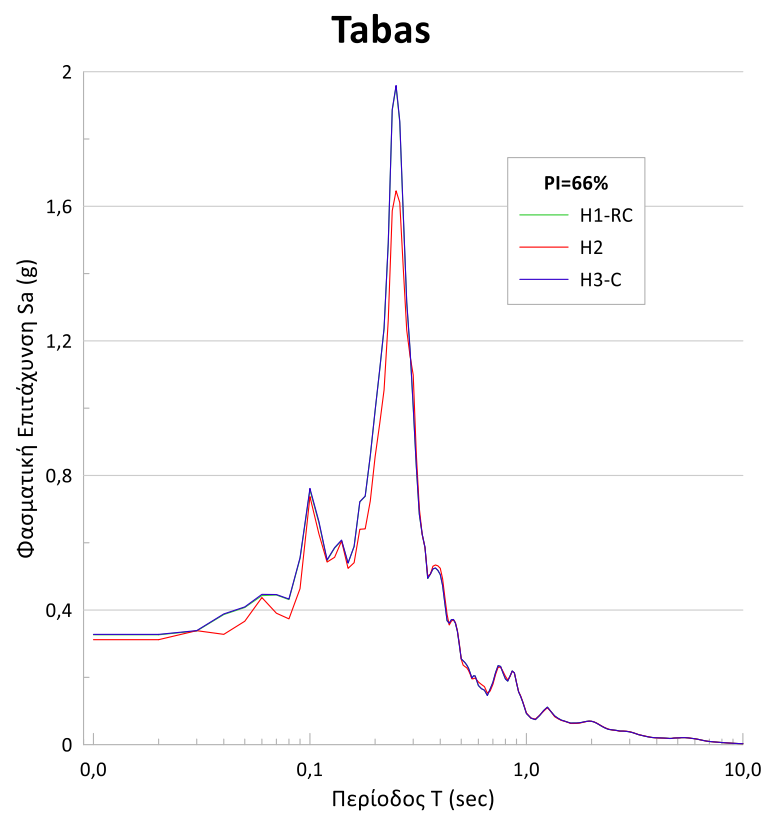


Σχήμα 110: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=100-180$  m/s

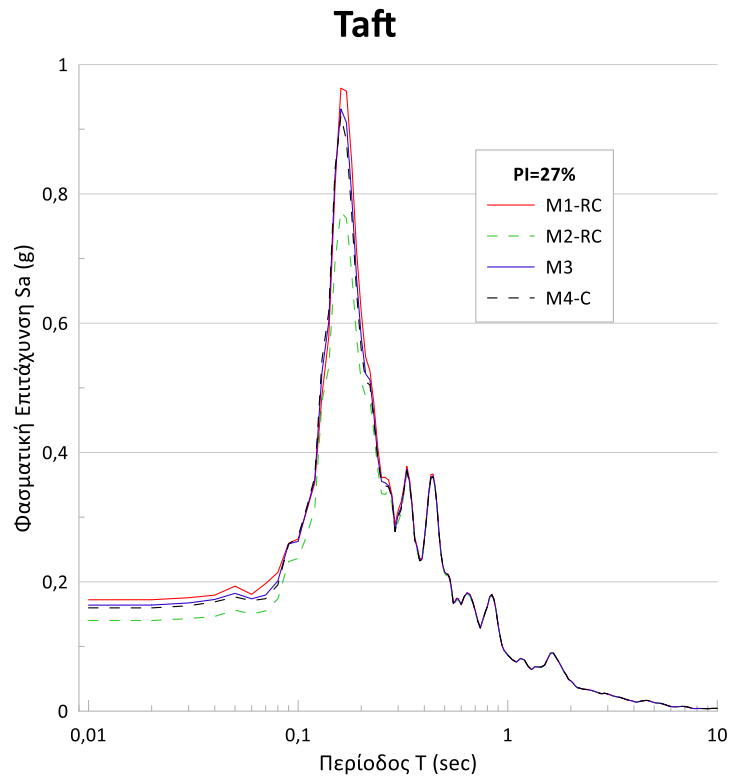
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



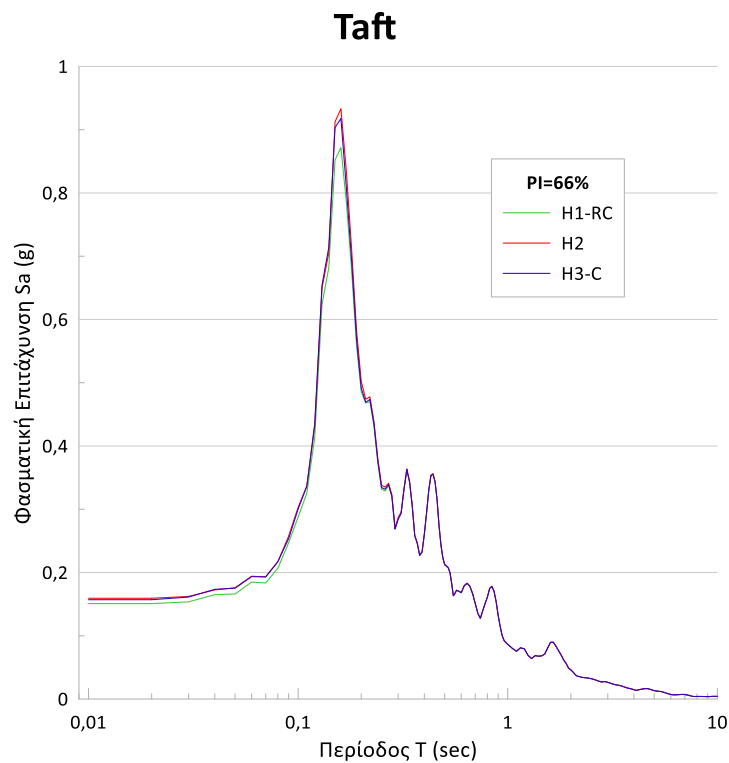
Σχήμα 111: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=100-180$  m/s



Σχήμα 112: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=100-180$  m/s



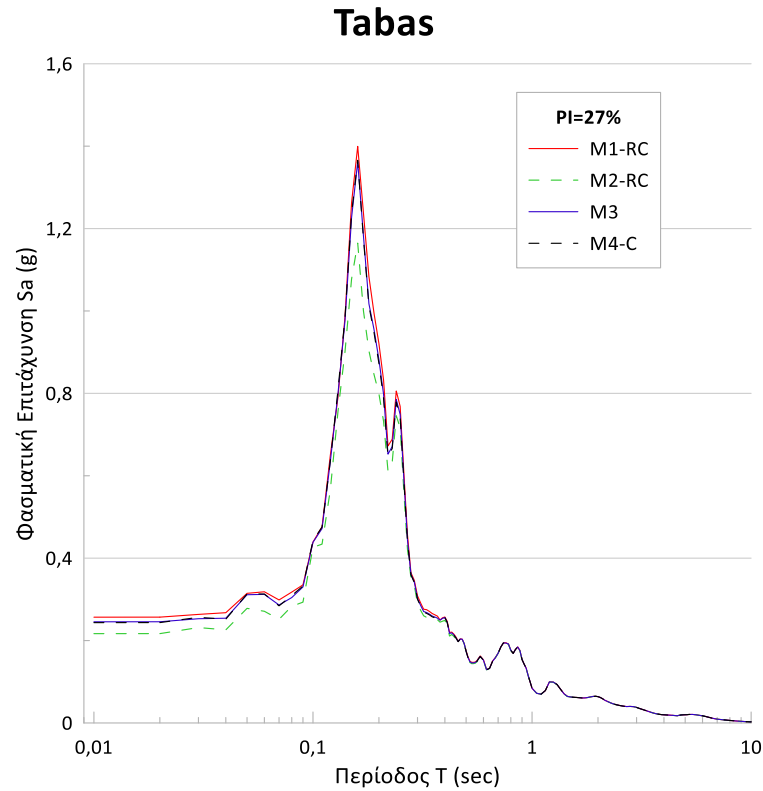
**Σχήμα 113:** Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=270$  m/s



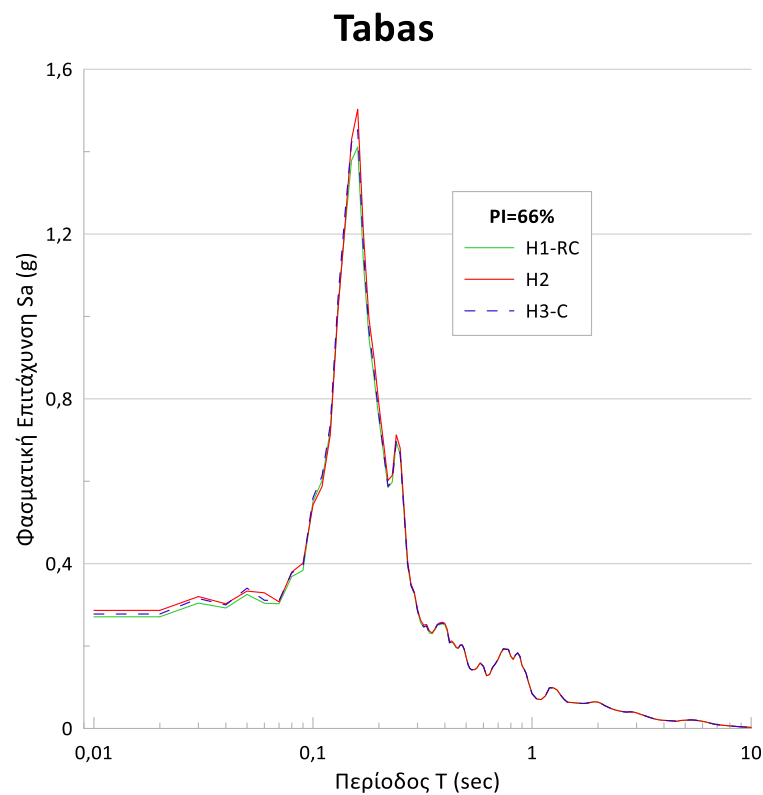
**Σχήμα 114:** Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=270$  m/s



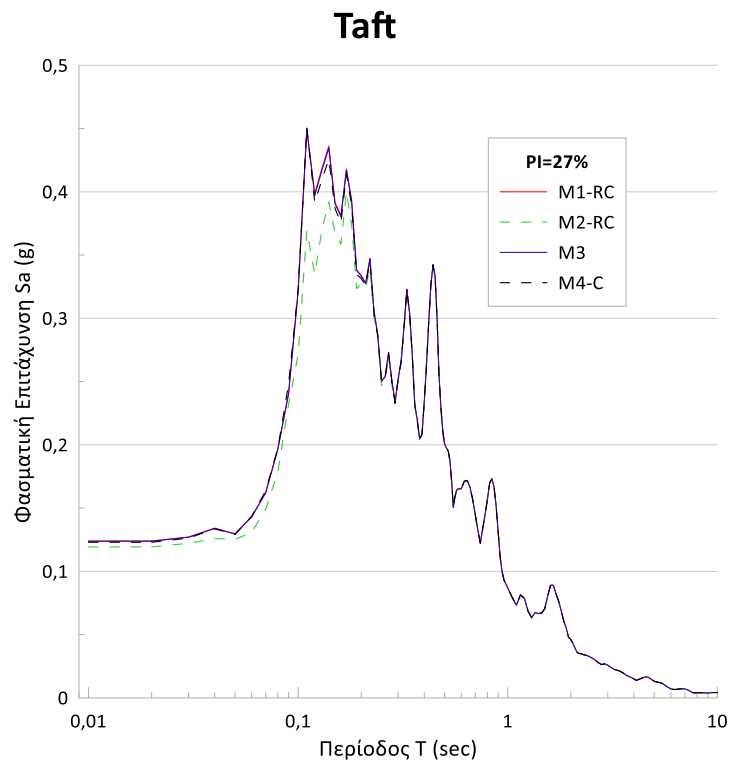
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



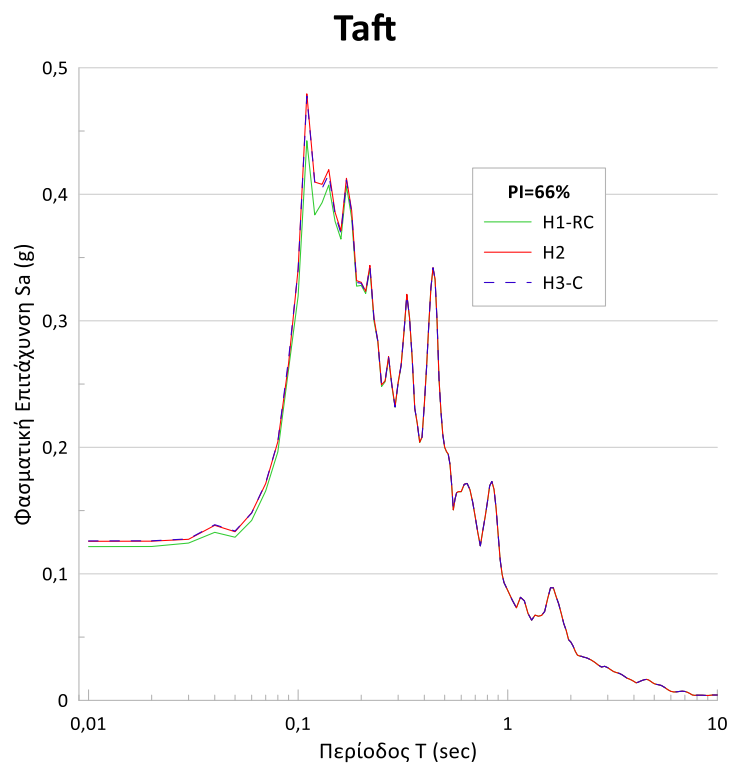
Σχήμα 115: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=270$  m/s



Σχήμα 116: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=270$  m/s

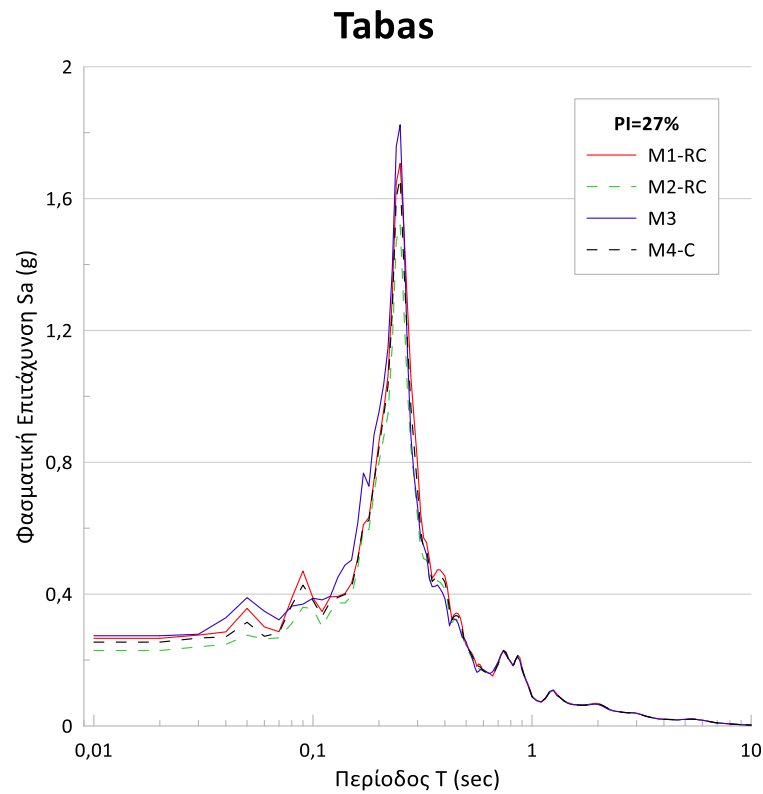


**Σχήμα 117:** Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=360 m/s$

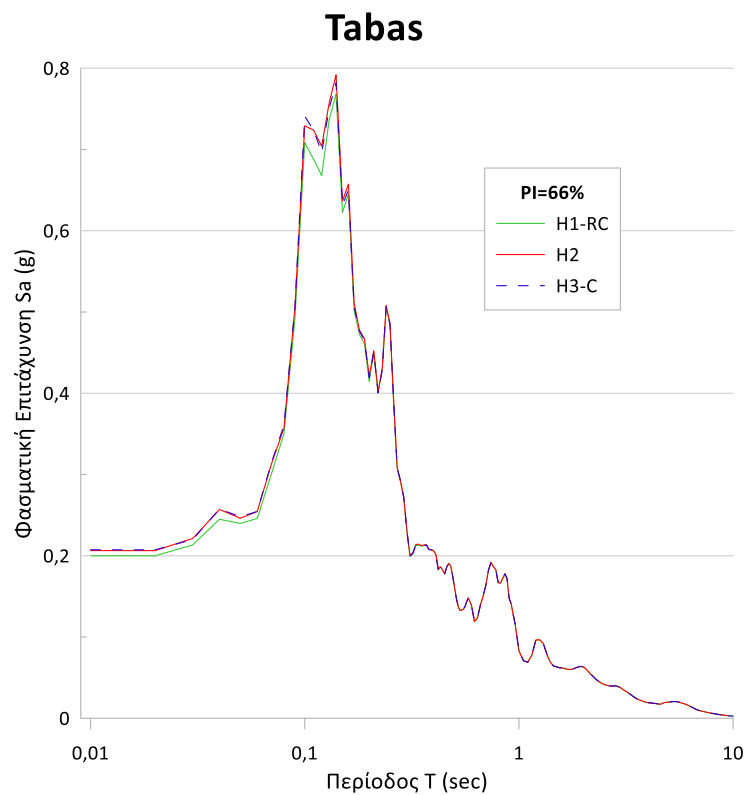


**Σχήμα 118:** Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=360 m/s$

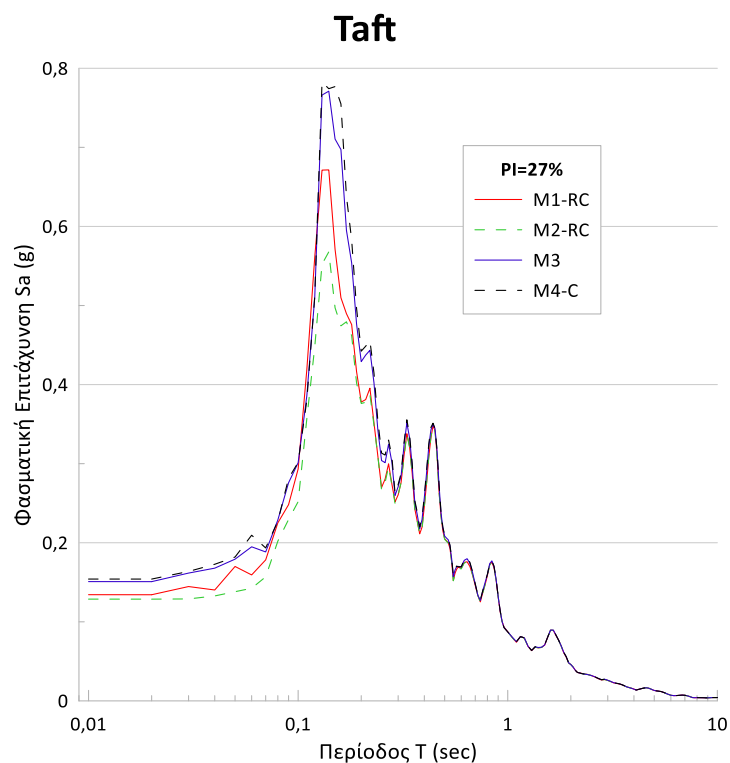
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



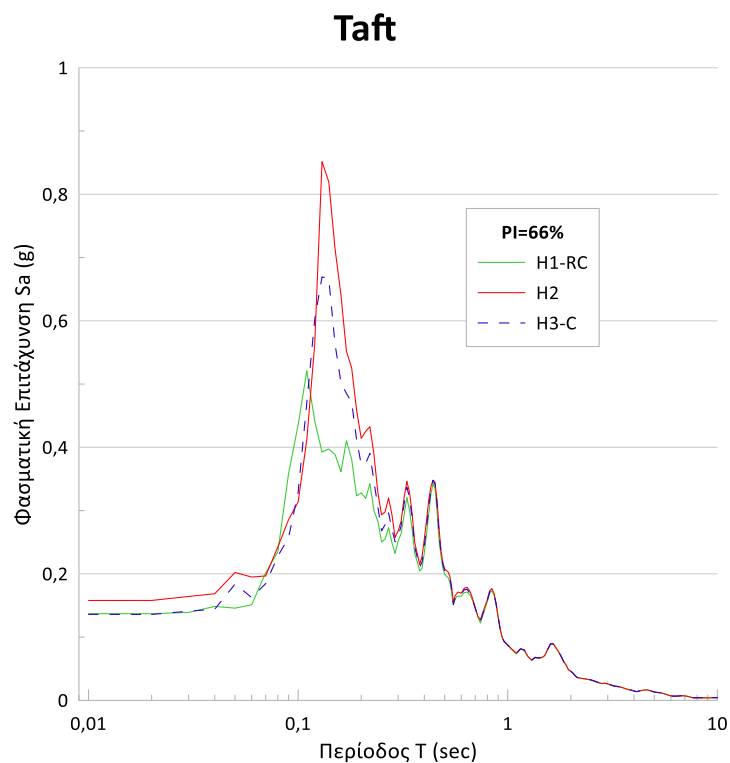
Σχήμα 119: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=360$  m/s



Σχήμα 120: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=360$  m/s

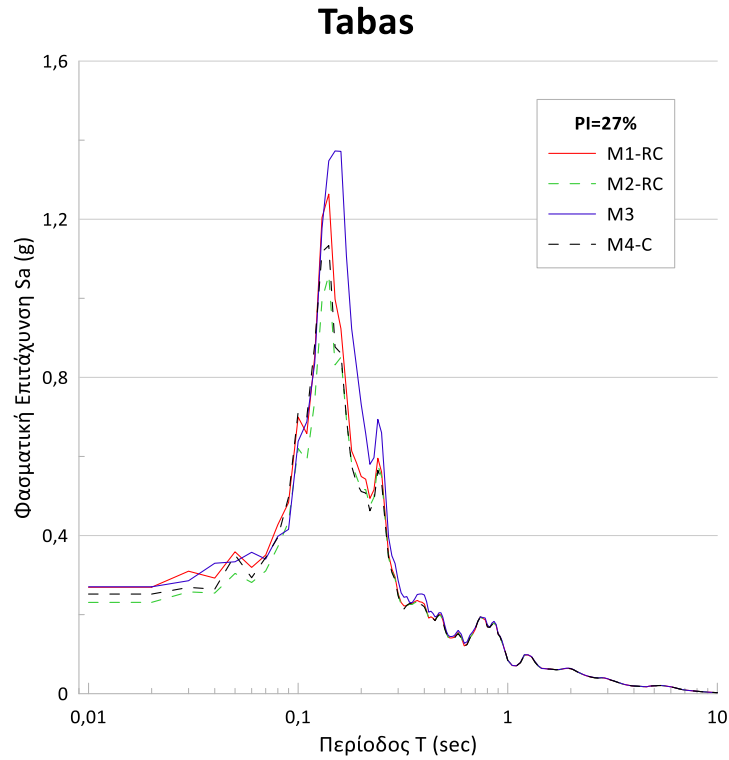


Σχήμα 121: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=180-360$  m/s

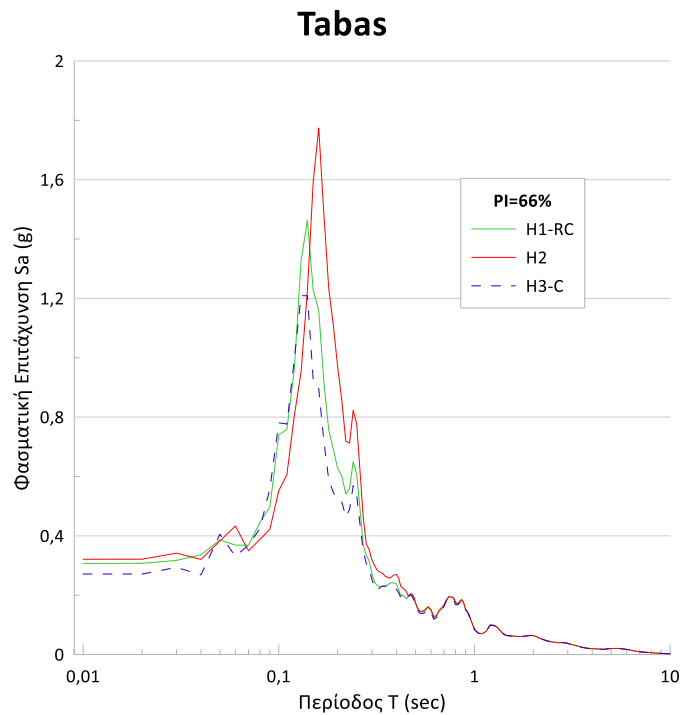


Σχήμα 122: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=180-360$  m/s

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

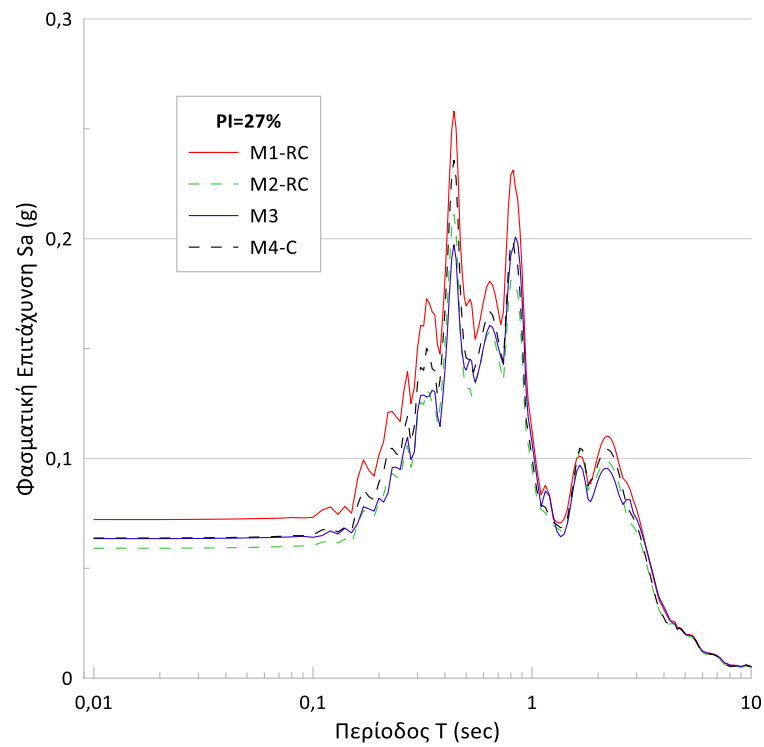


Σχήμα 123: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=10\text{m}$  και  $V_s=180\text{-}360\text{ m/s}$



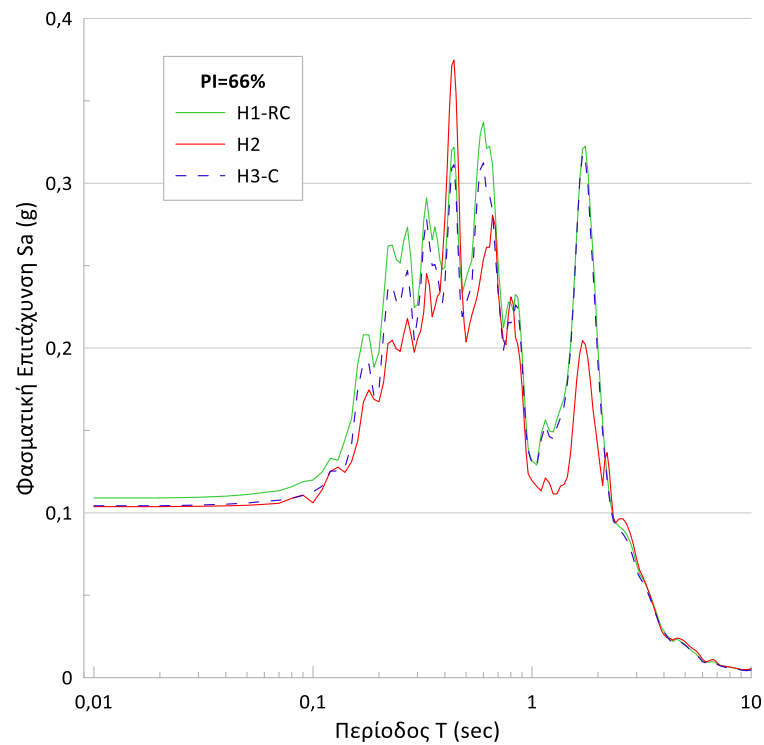
Σχήμα 124: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=10\text{m}$  και  $V_s=180\text{-}360\text{ m/s}$

### Taft



Σχήμα 125: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20$ m και  $V_s=50$  m/s

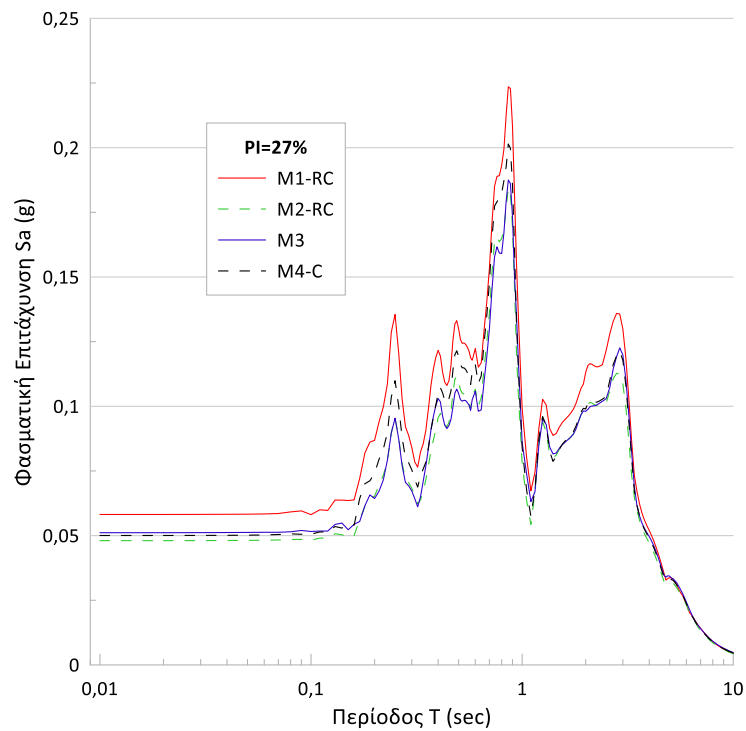
### Taft



Σχήμα 126: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=20$ m και  $V_s=50$  m/s

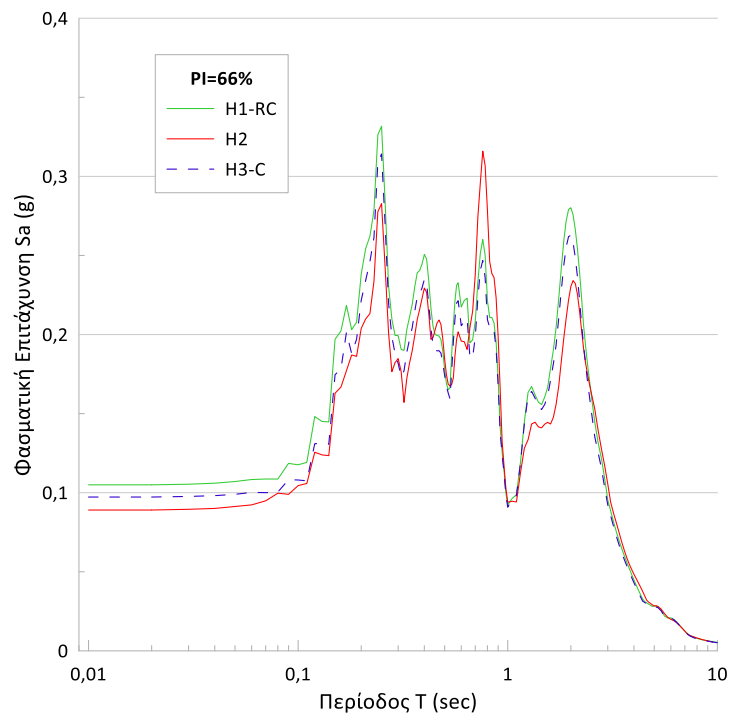
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Tabas



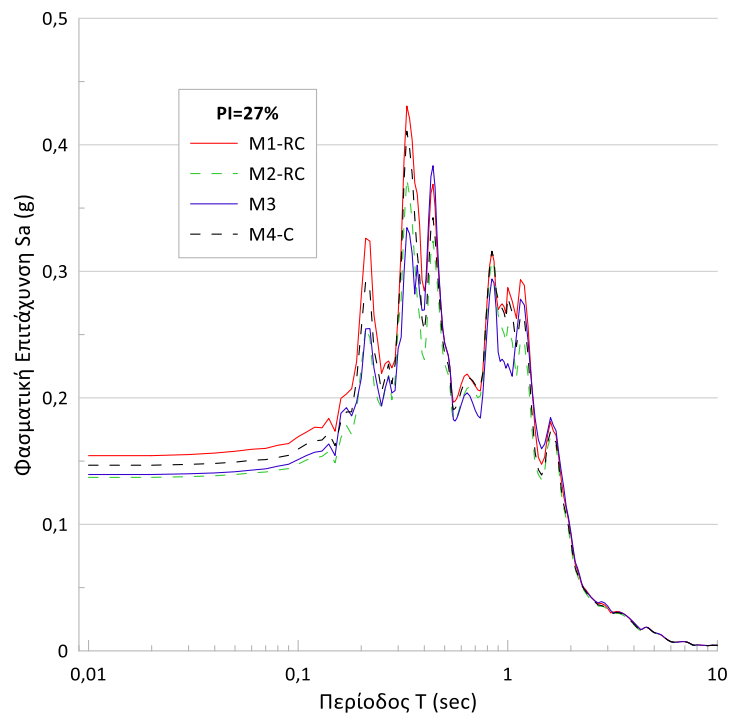
Σχήμα 127: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=50 m/s$

### Tabas



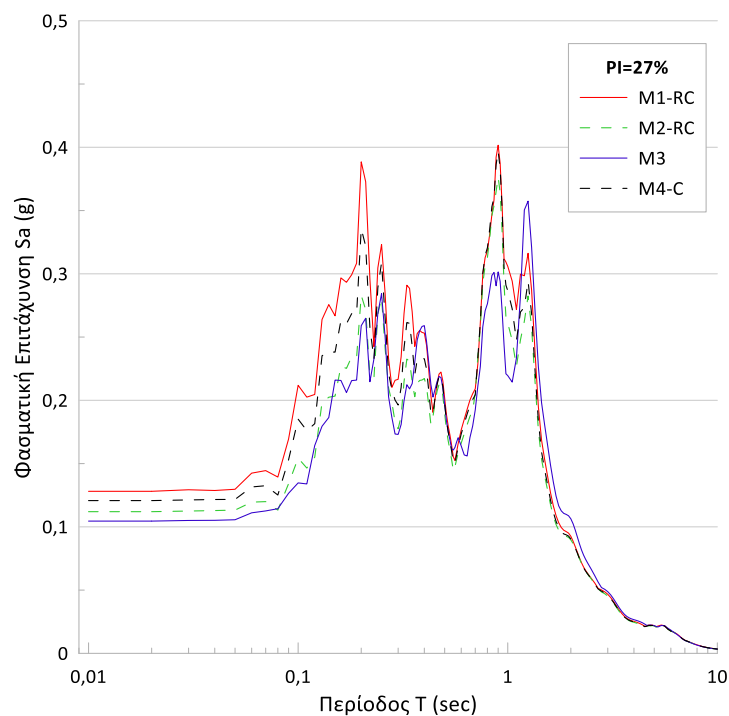
Σχήμα 128: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=50 m/s$

## Taft



Σχήμα 129: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=100$  m/s

## Tabas

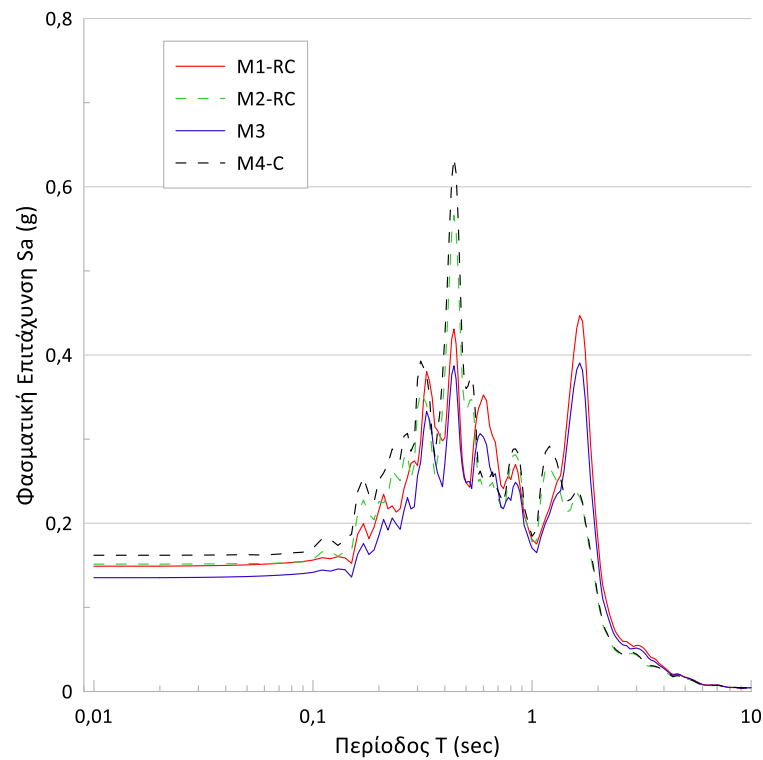


Σχήμα 130: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=100$  m/s



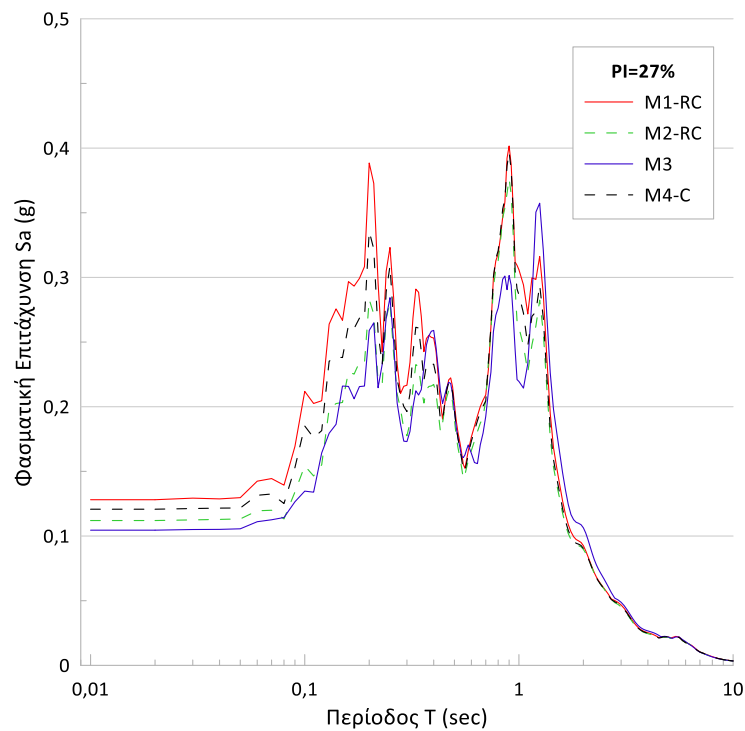
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Taft



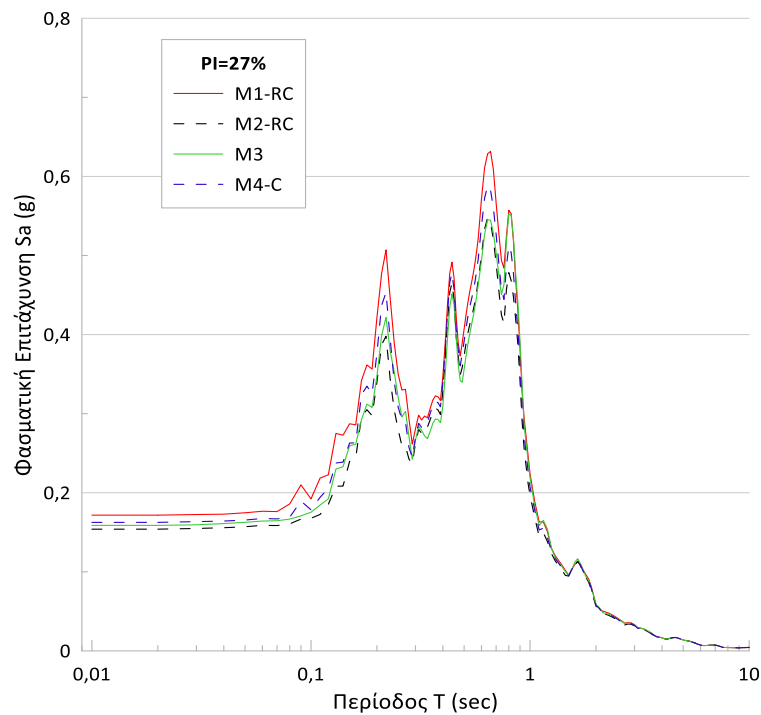
Σχήμα 131: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=50-100 m/s$

### Tabas



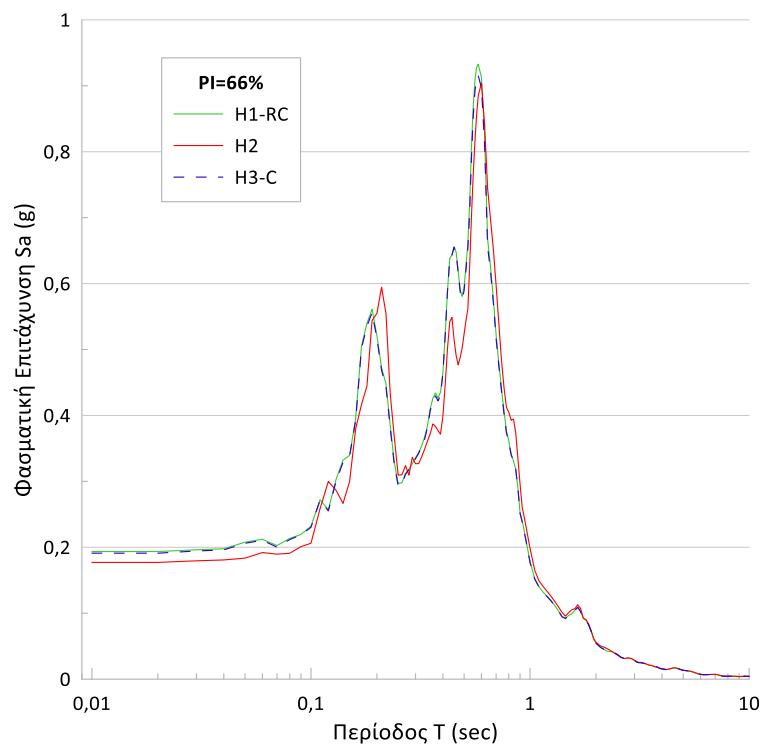
Σχήμα 132: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=50-100 m/s$

### Taft



Σχήμα 133: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=150 m/s$

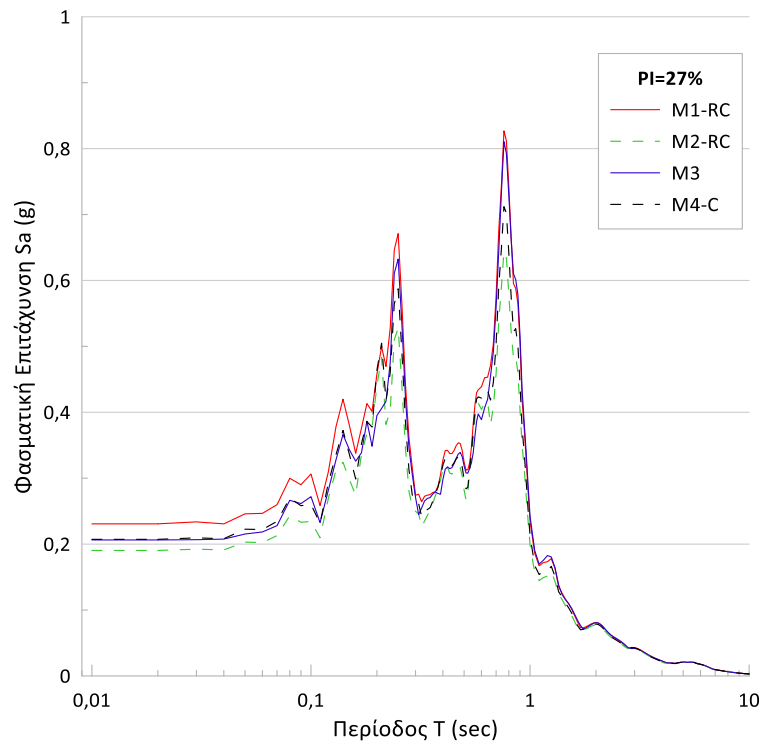
### Taft



Σχήμα 134: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=150 m/s$

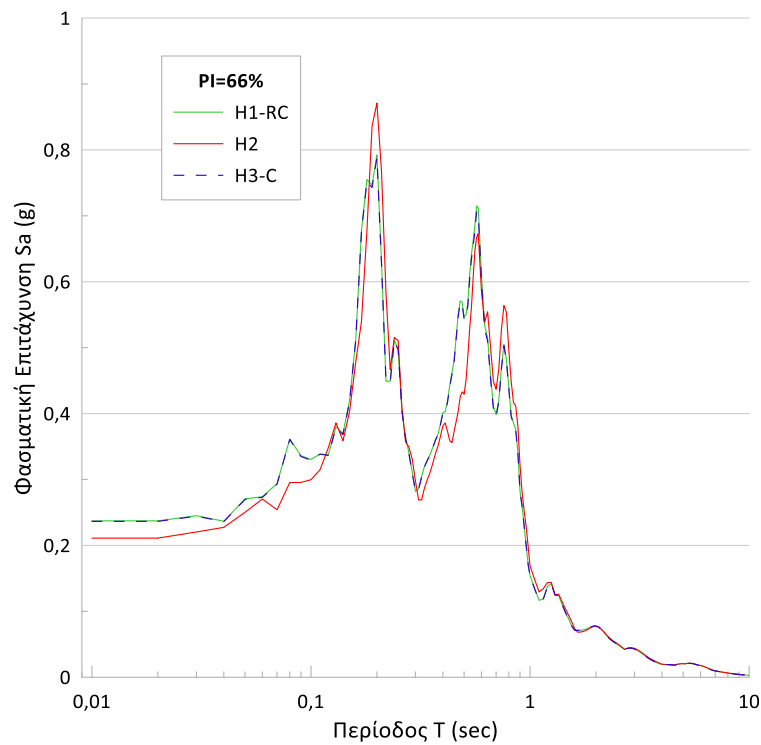
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Tabas

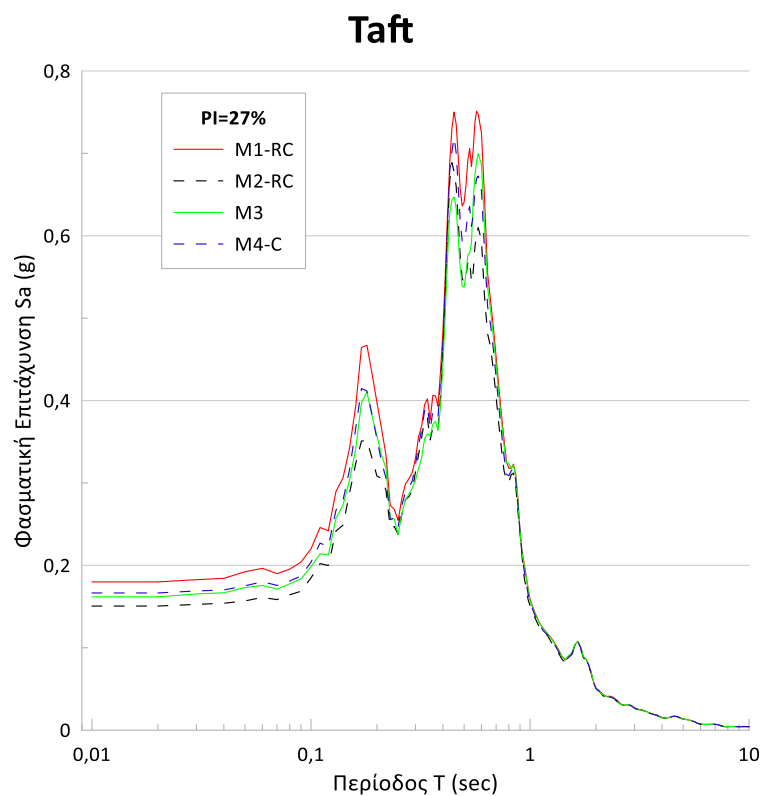


Σχήμα 135: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=150$  m/s

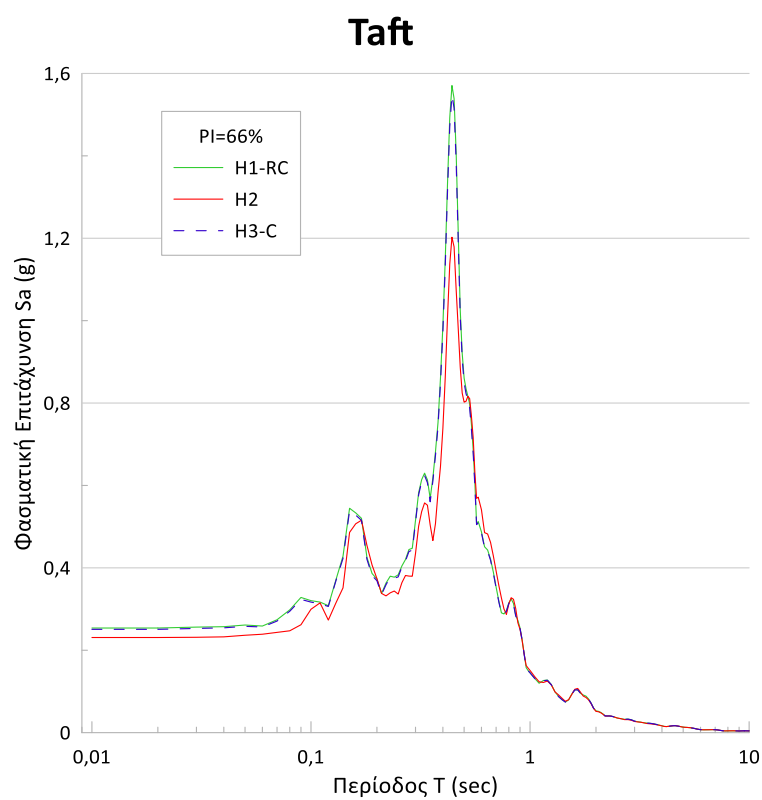
### Tabas



Σχήμα 136: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=150$  m/s



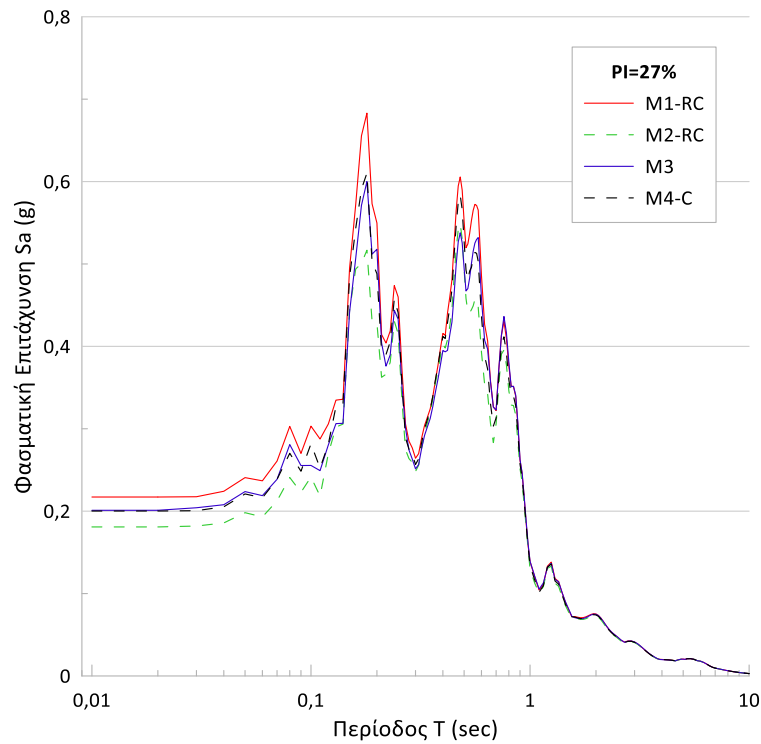
Σχήμα 137: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=180 m/s$



Σχήμα 138: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=180 m/s$

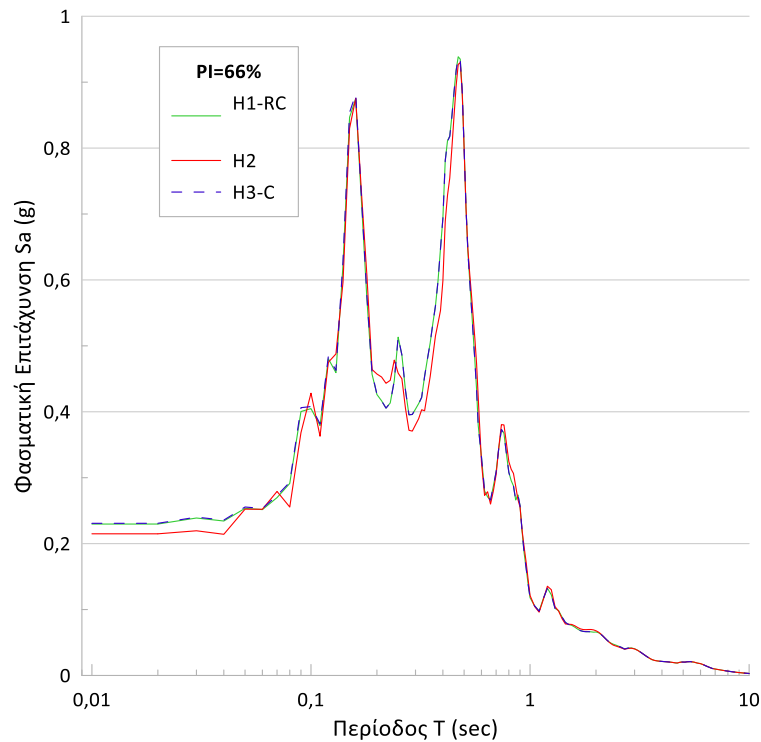
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Tabas



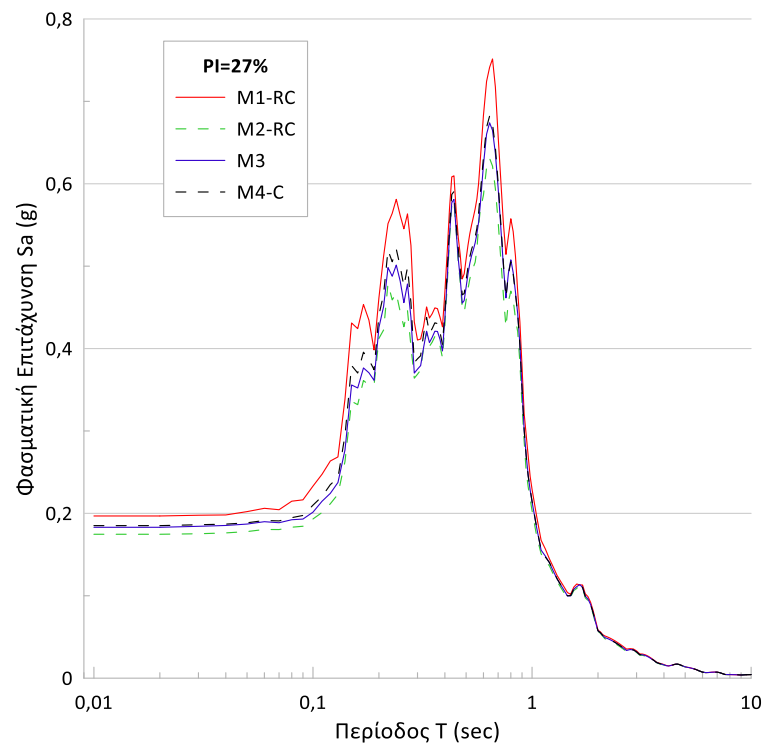
Σχήμα 139: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=20$ m και  $V_s=180$  m/s

### Tabas



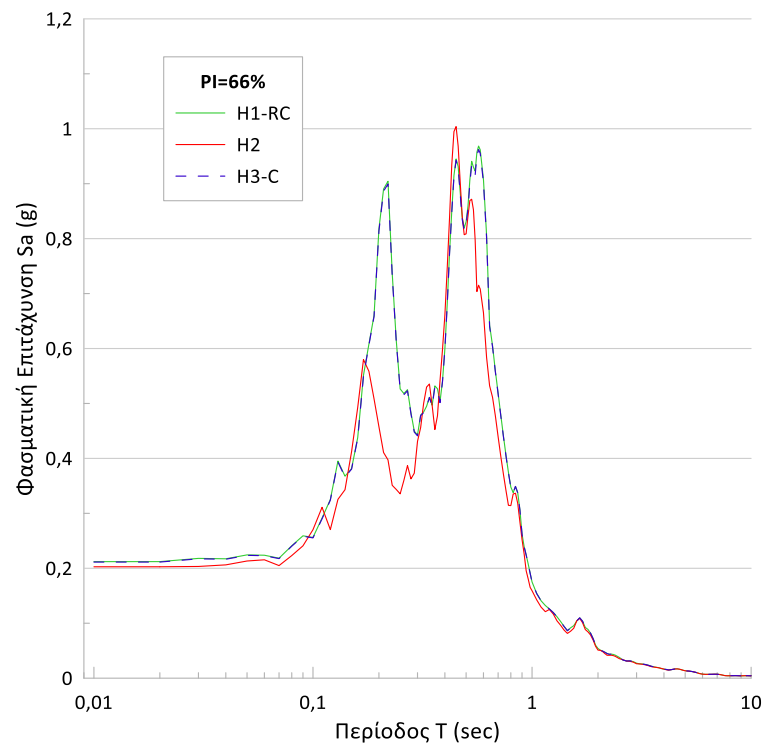
Σχήμα 140: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=66\%$ ,  $z=20$ m και  $V_s=180$  m/s

### Taft



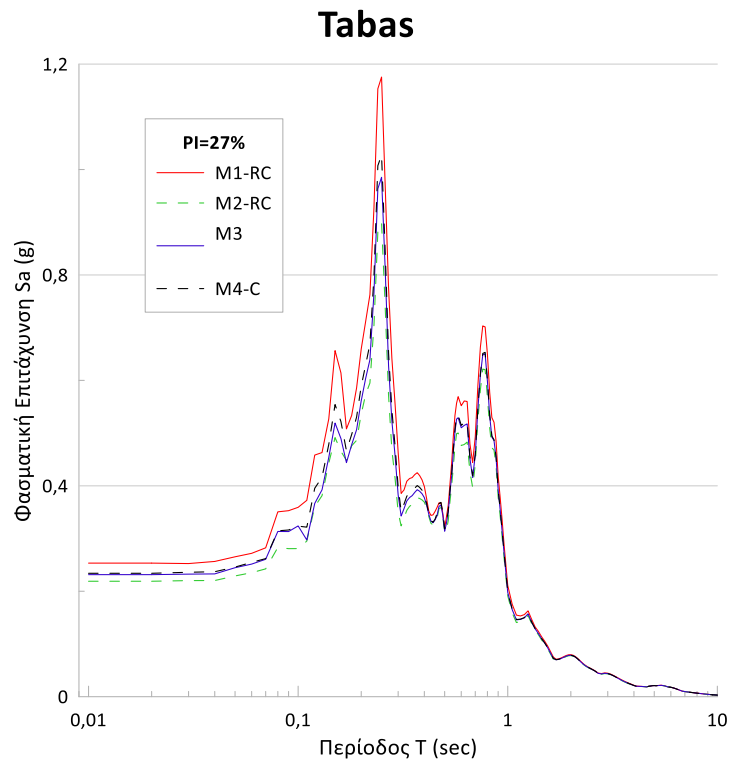
Σχήμα 141: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=100-180$  m/s

### Taft

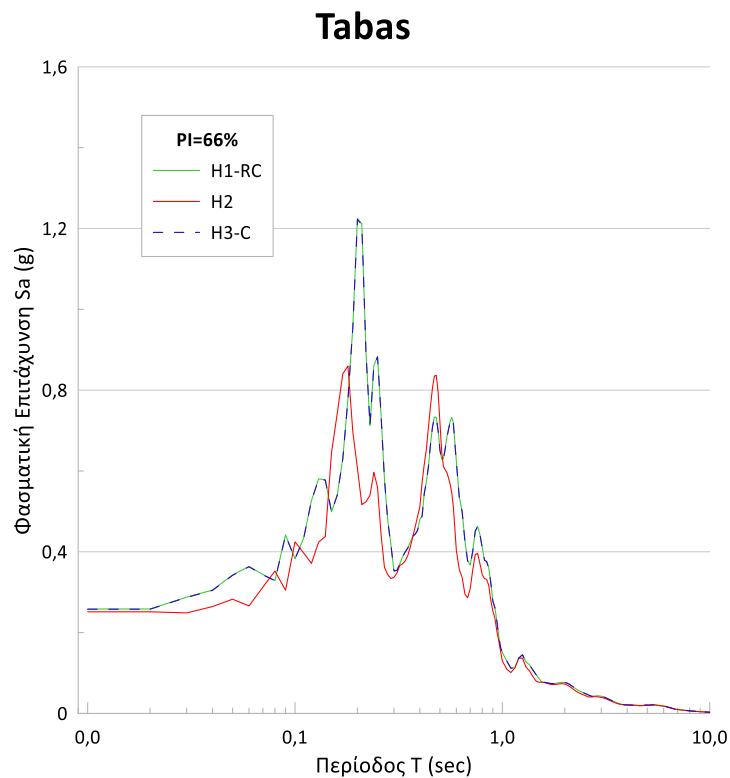


Σχήμα 142: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=100-180$  m/s

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

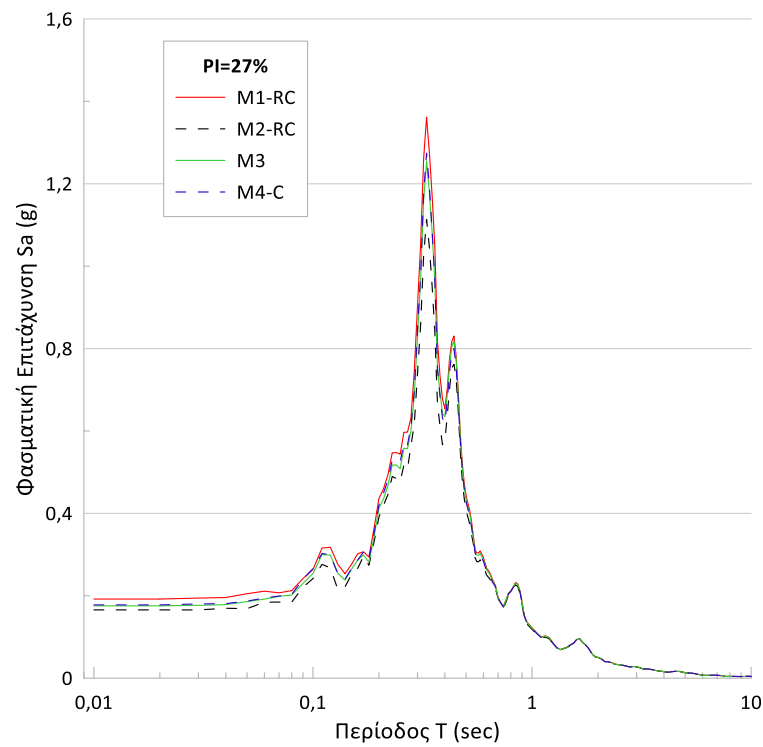


Σχήμα 143: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=100-180$  m/s



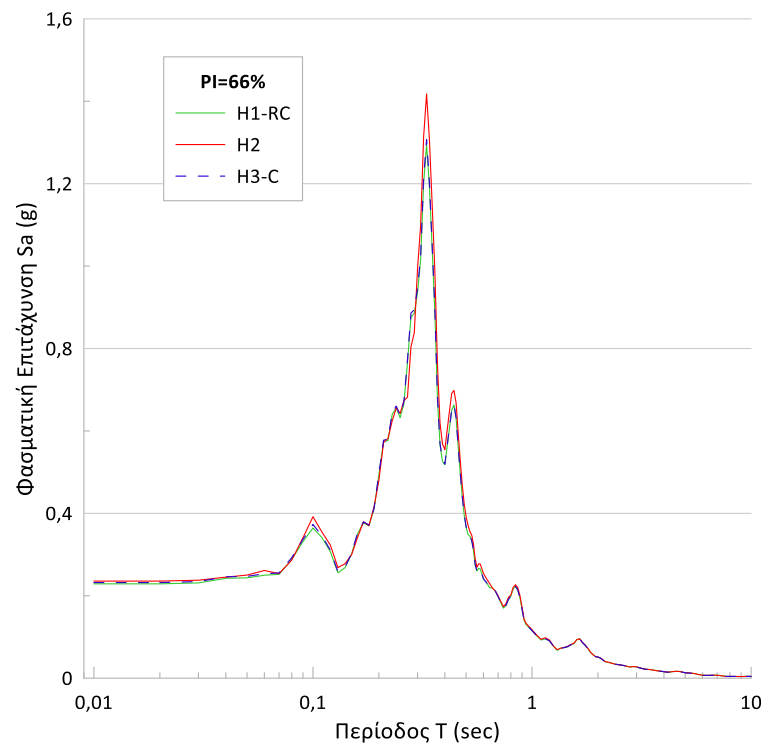
Σχήμα 144: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=100-180$  m/s

## Taft



Σχήμα 145: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=270 m/s$

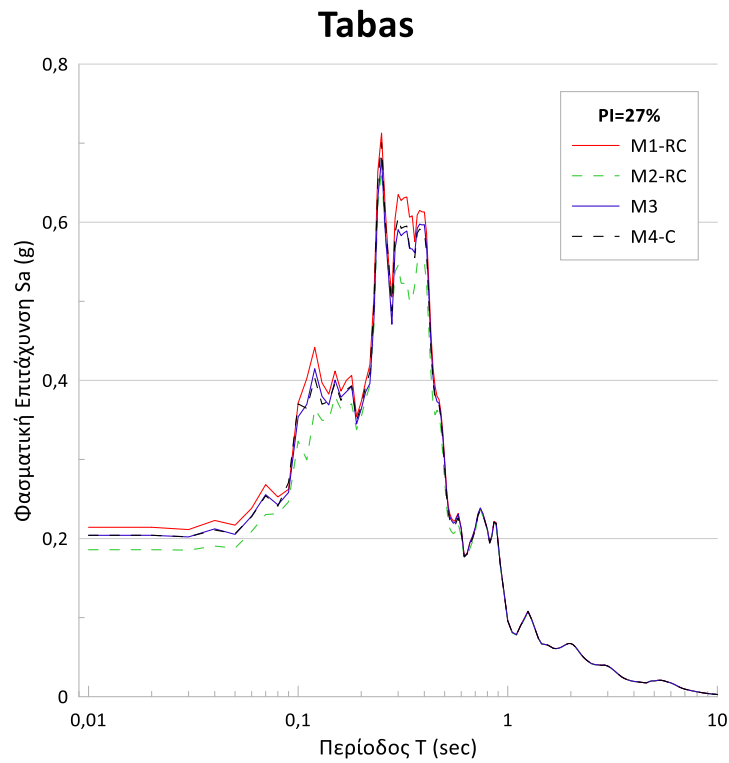
## Taft



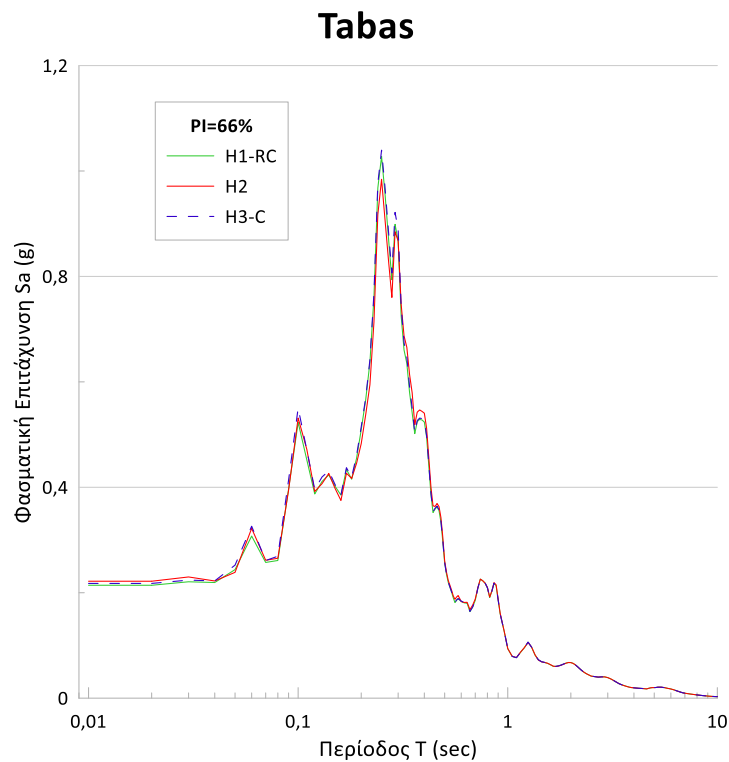
Σχήμα 146: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=270 m/s$



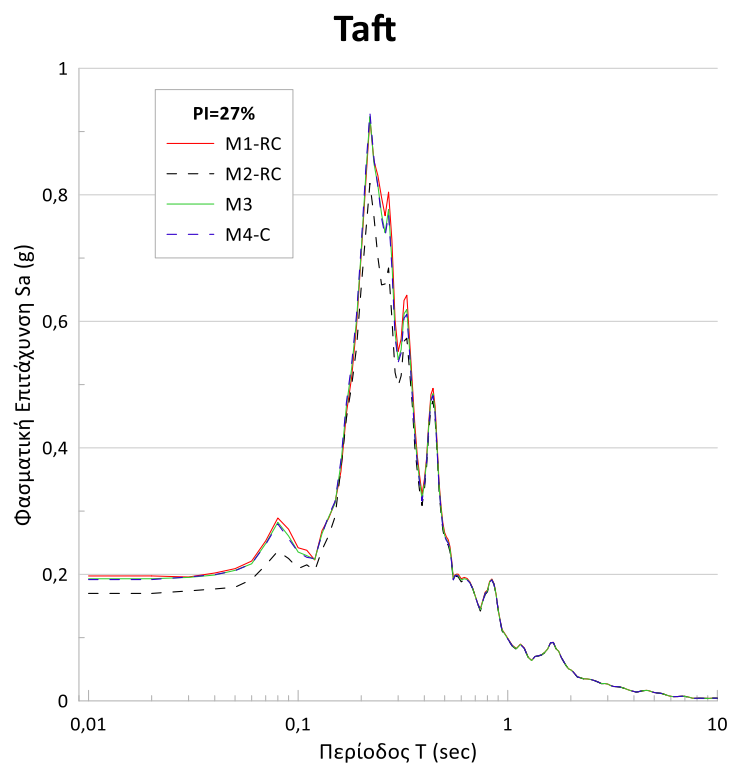
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



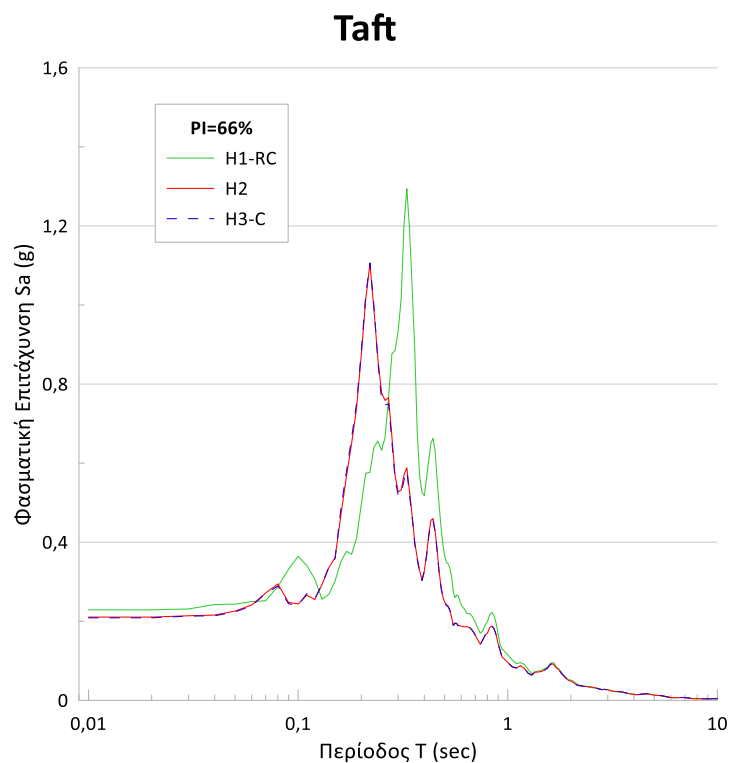
Σχήμα 147: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=270 m/s$



Σχήμα 148: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=270 m/s$

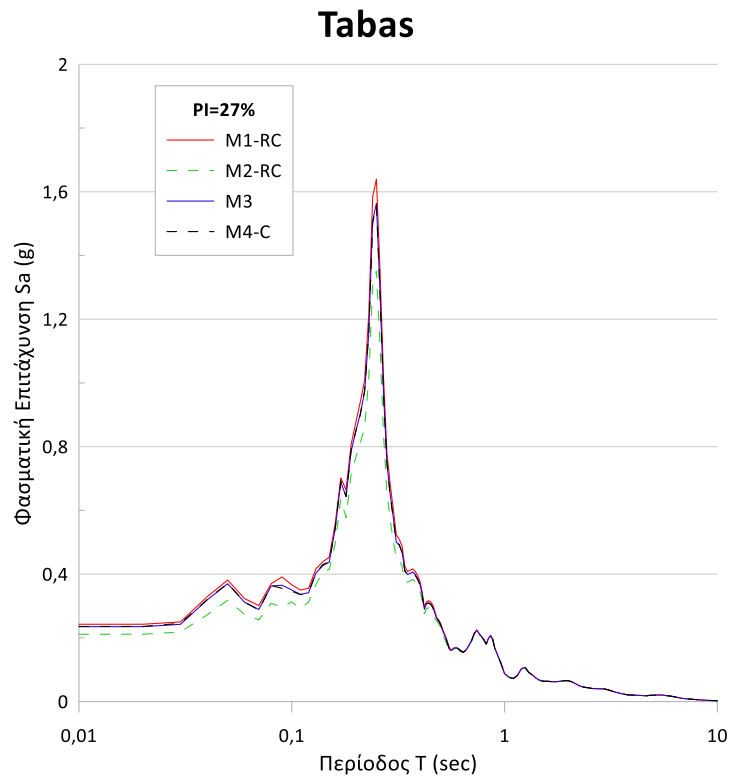


Σχήμα 149: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=360 m/s$

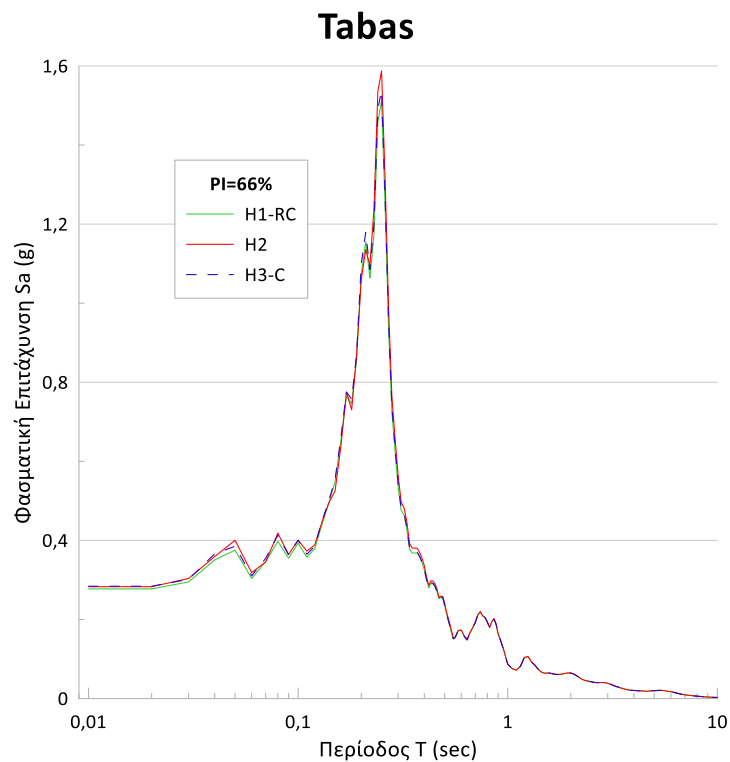


Σχήμα 150: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=360 m/s$

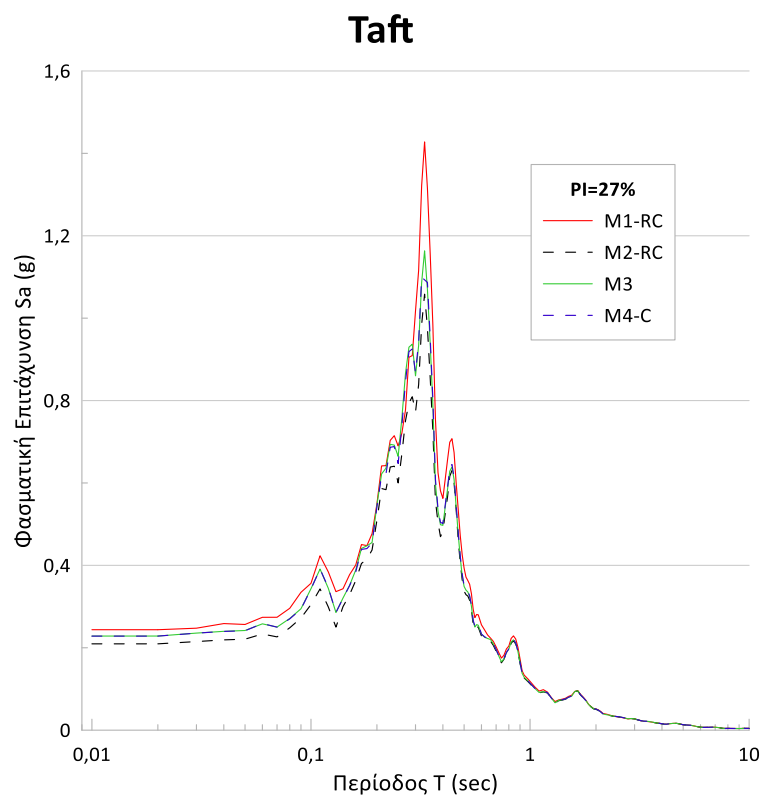
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



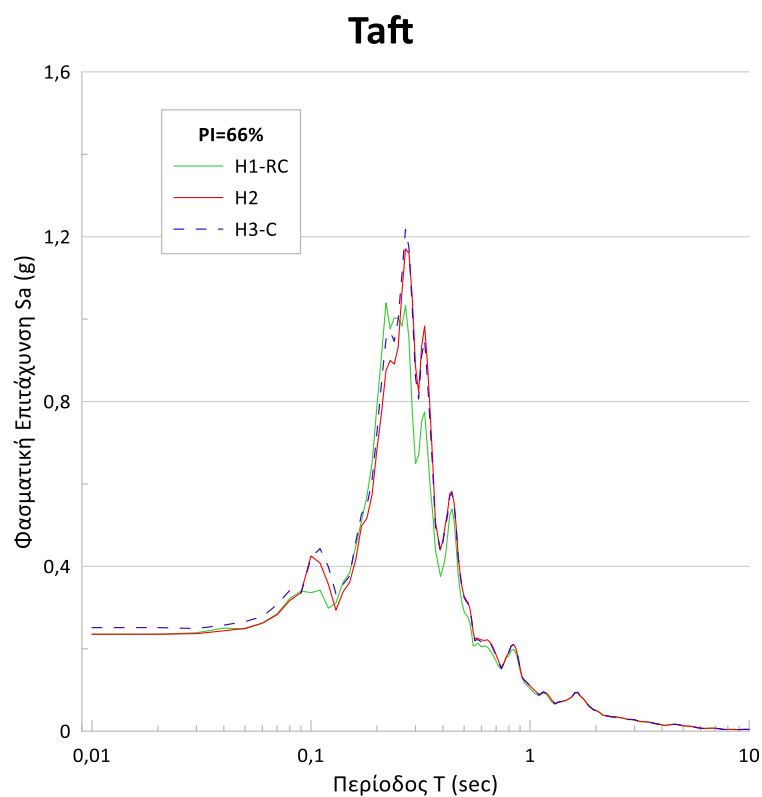
Σχήμα 151: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=360$  m/s



Σχήμα 152: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας E με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=360$  m/s



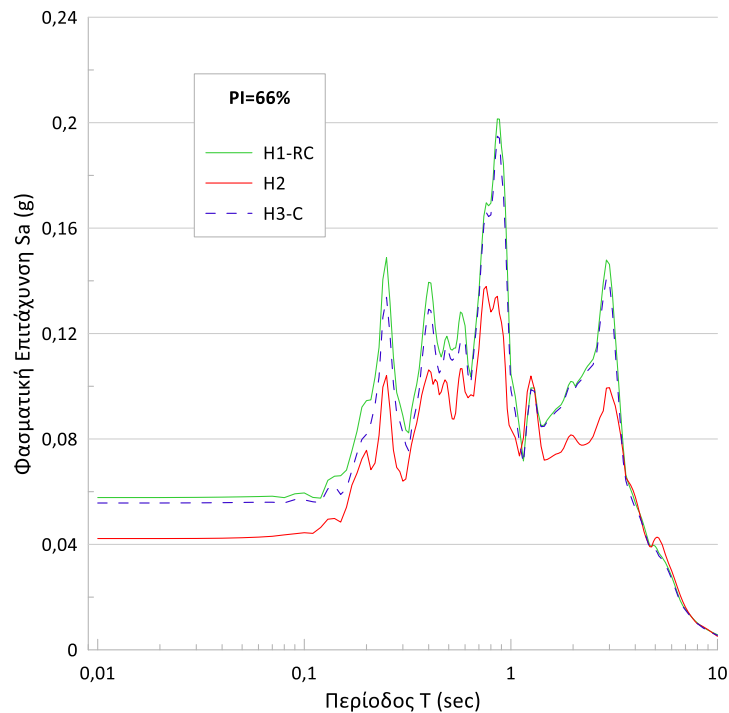
Σχήμα 153: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=27\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=180-360$  m/s



Σχήμα 154: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας Ε με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=180-360$  m/s

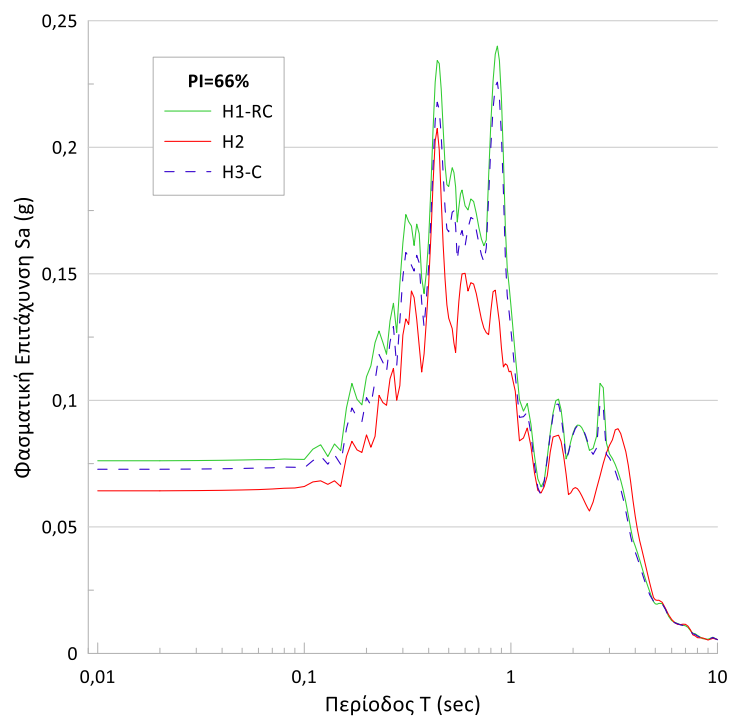
#### 4.1.4 Έδαφος κατηγορίας S1

##### Tabas



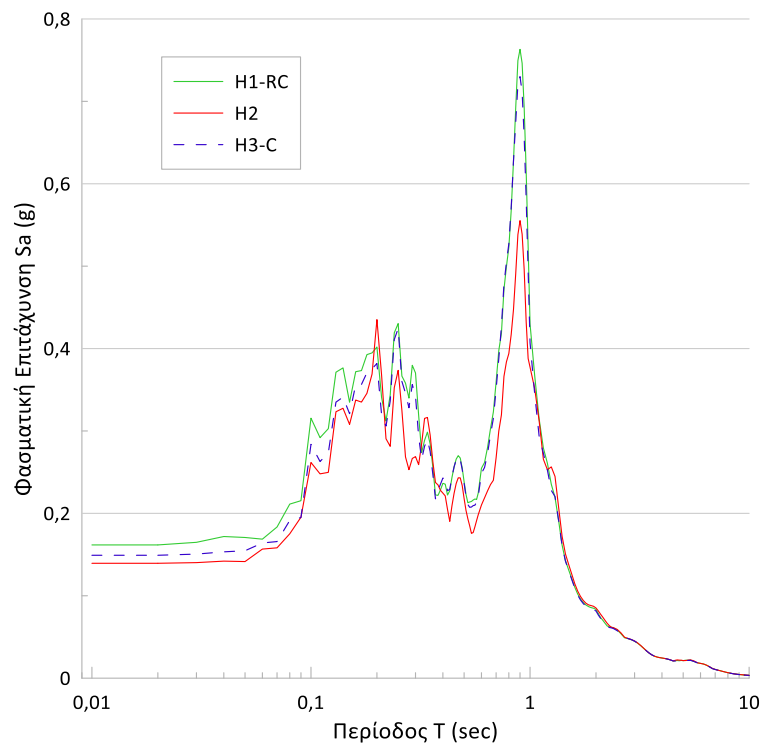
Σχήμα 155: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=20$  m/s

##### Taft



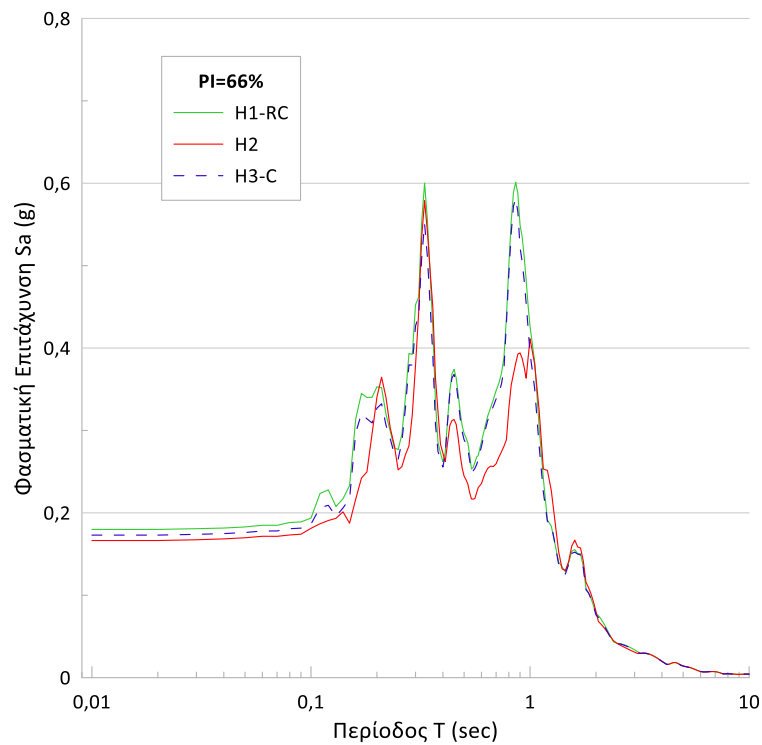
Σχήμα 156: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=20$  m/s

## Tabas



Σχήμα 157: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=10\text{m}$  και  $V_s=50\text{ m/s}$

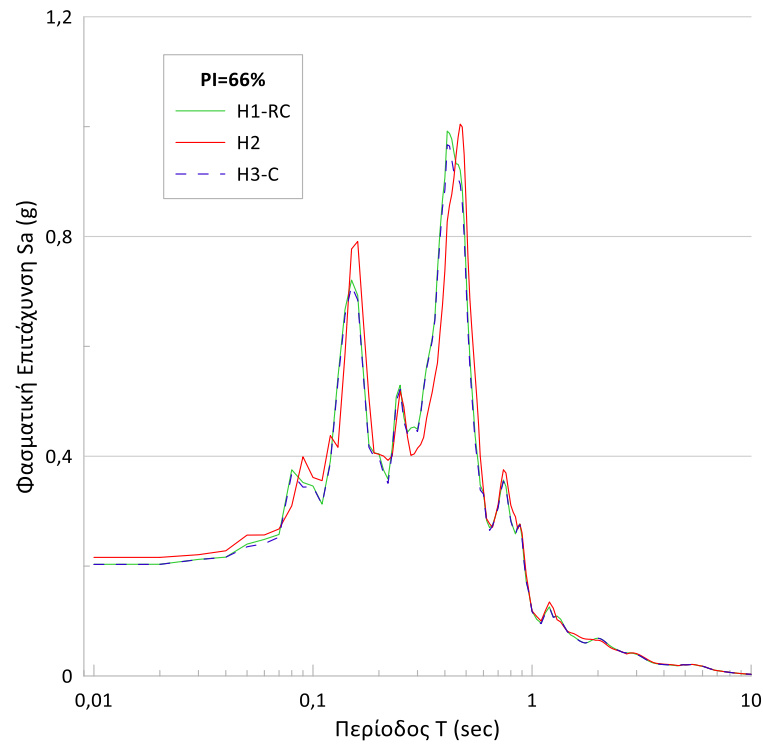
## Taft



Σχήμα 158: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=10\text{m}$  και  $V_s=50\text{ m/s}$

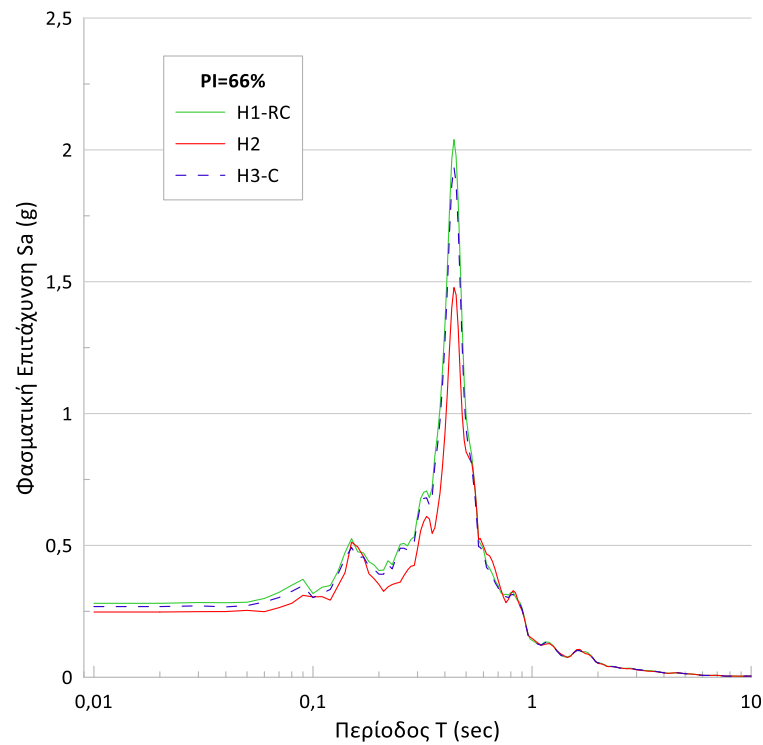
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Tabas



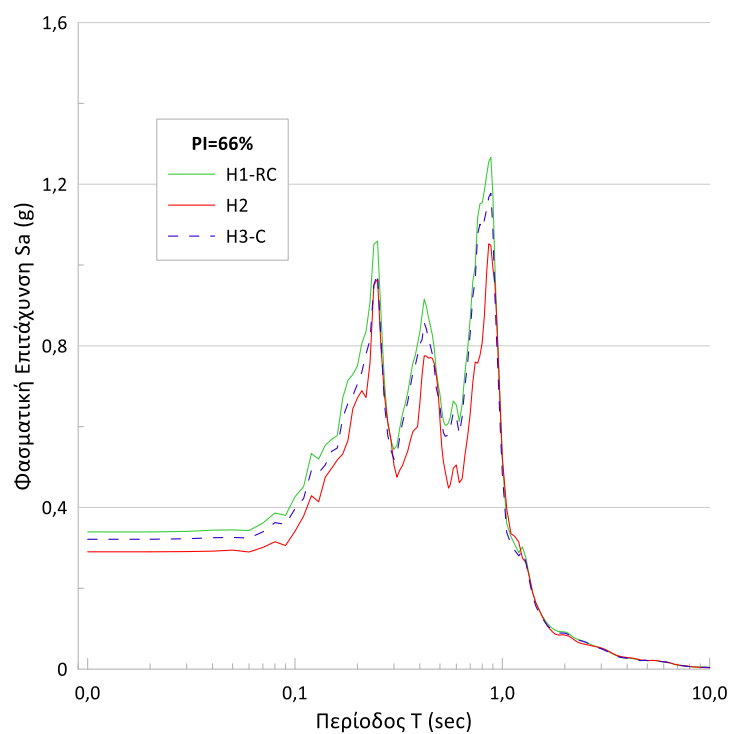
Σχήμα 159: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S1-E με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=100$  m/s

### Taft



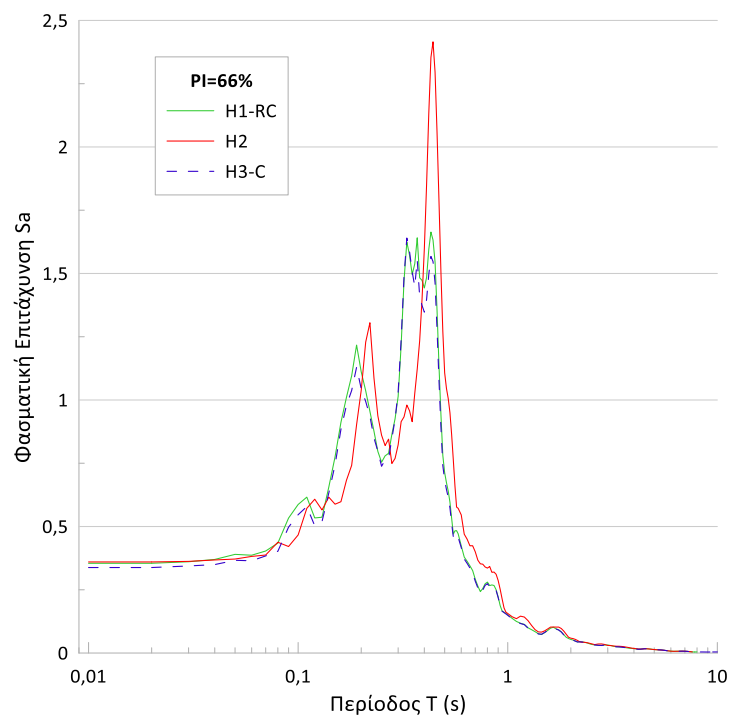
Σχήμα 160: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1-E με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=100$  m/s

## Tabas



Σχήμα 161: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=20-100 m/s$

## Taft

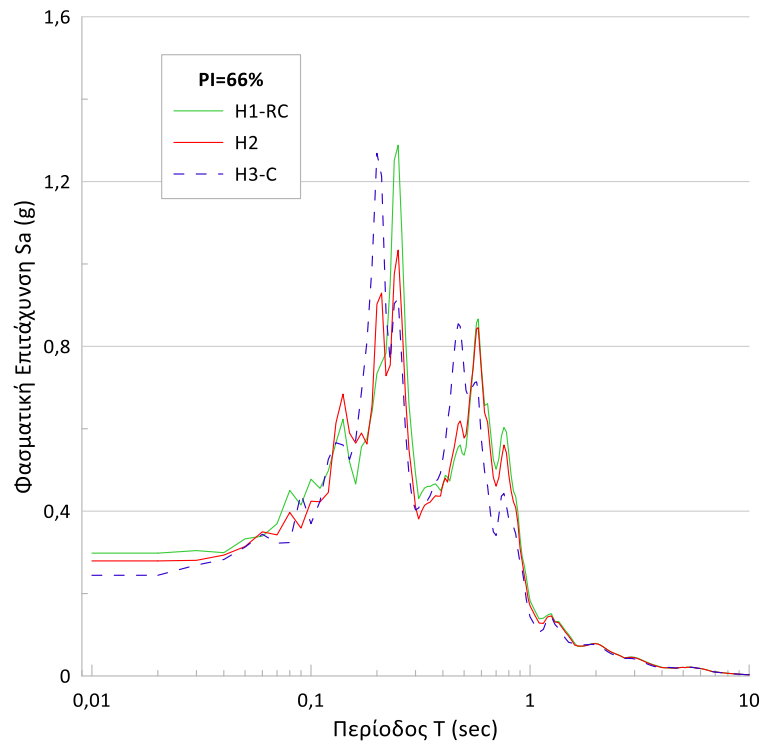


Σχήμα 162: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=20-100 m/s$



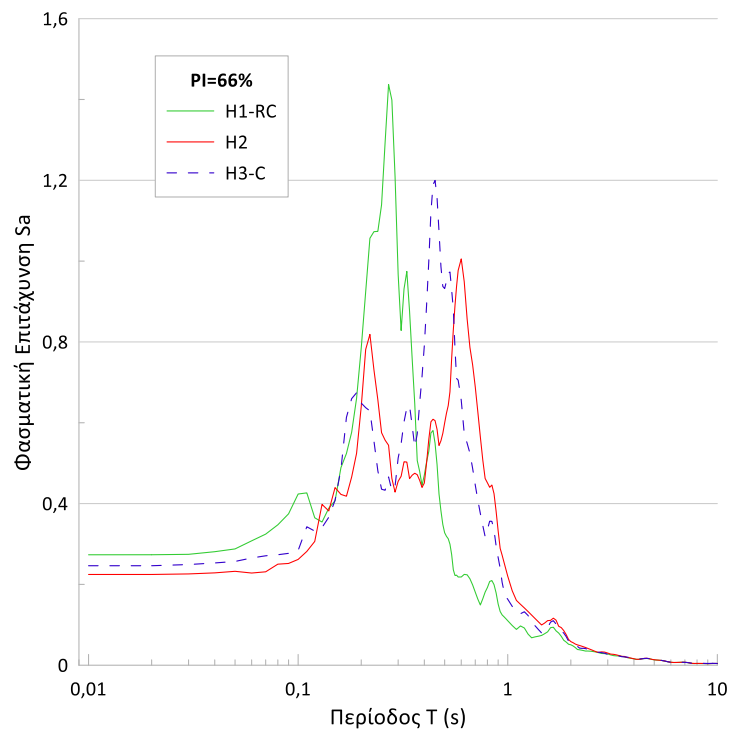
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Tabas



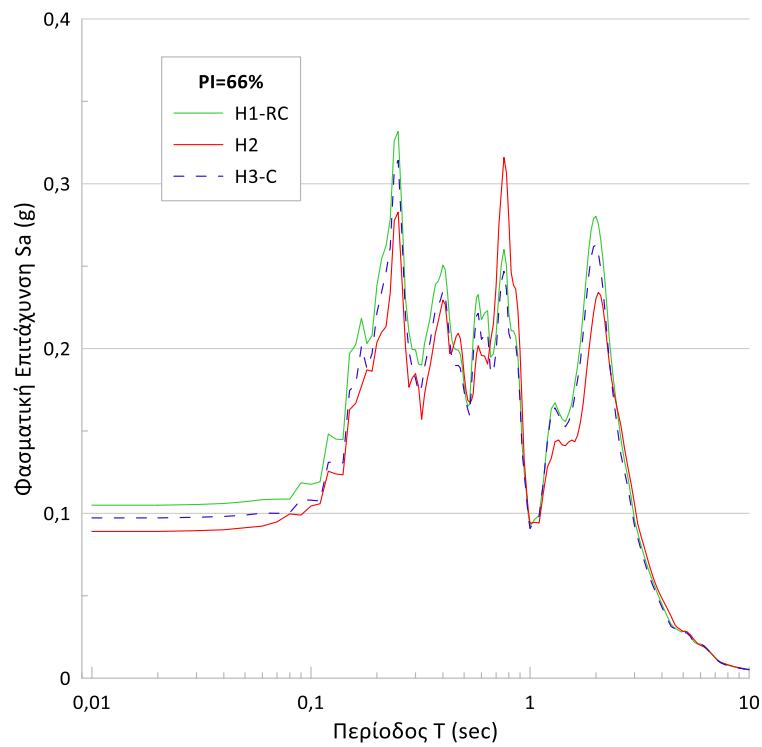
Σχήμα 163: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=50-100 m/s$

### Taft



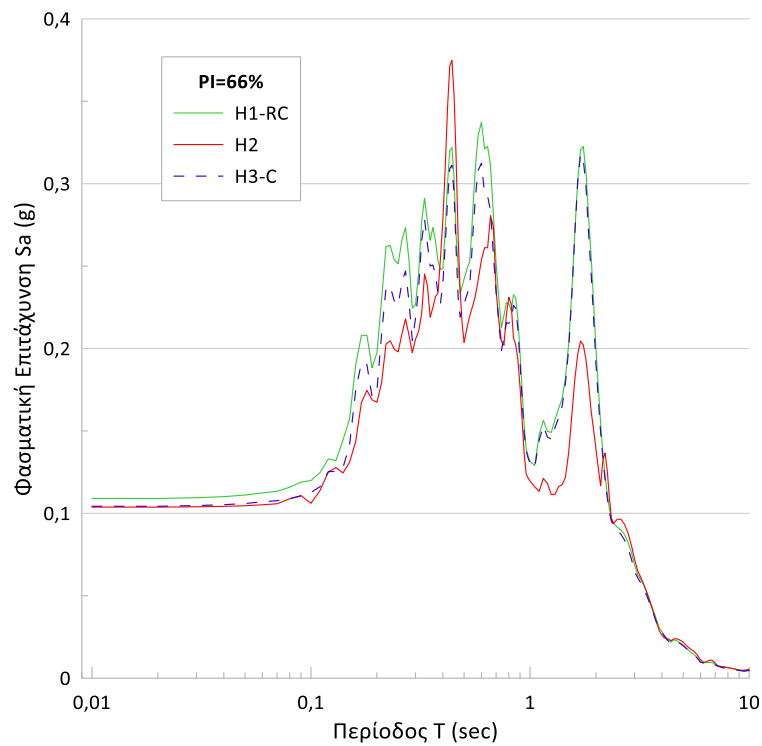
Σχήμα 164: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=10m$  και  $V_s=50-100 m/s$

## Tabas



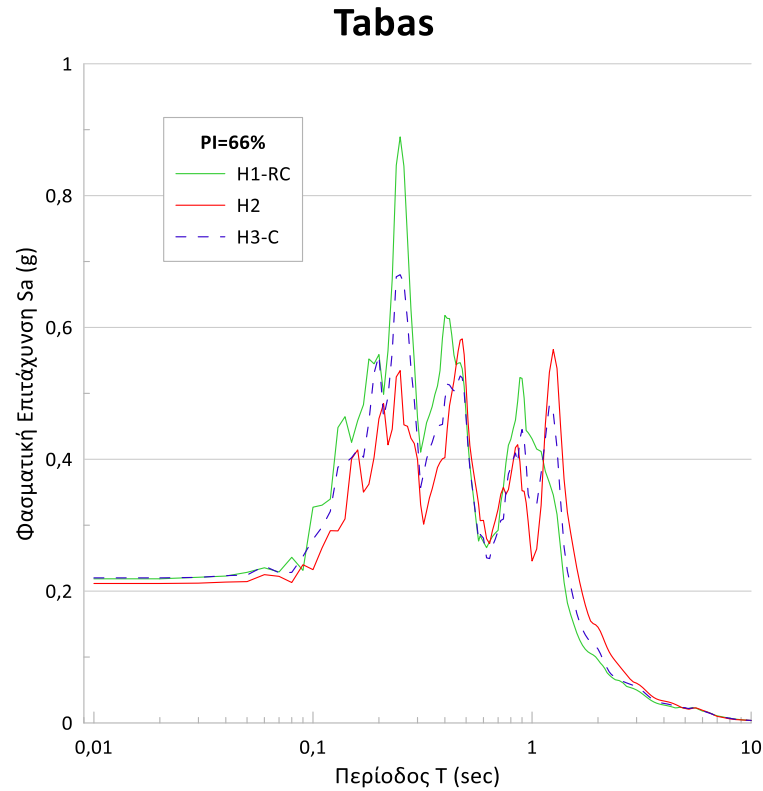
Σχήμα 165: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=50 m/s$

## Taft

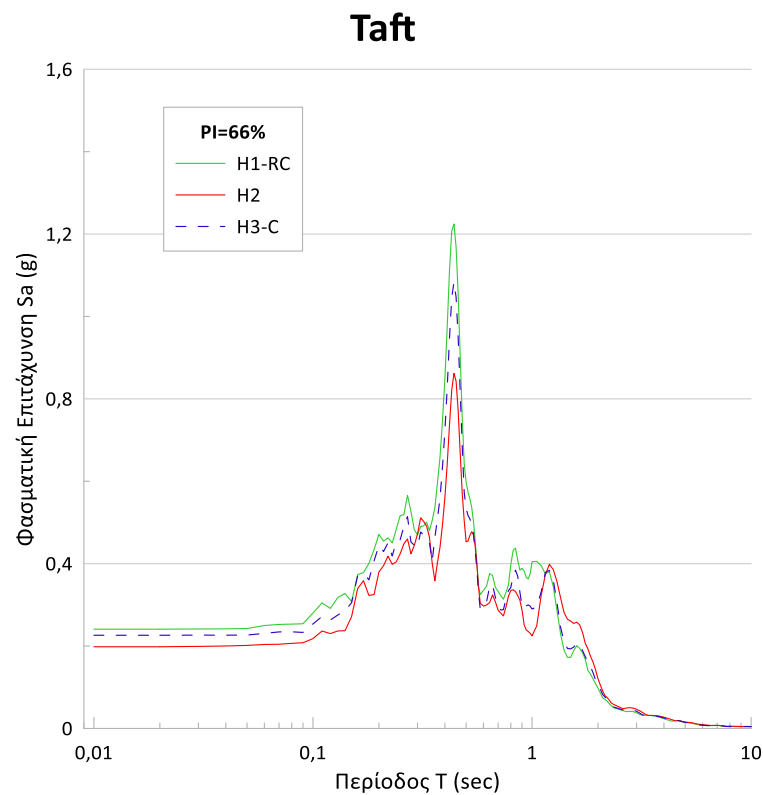


Σχήμα 166: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=50 m/s$

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

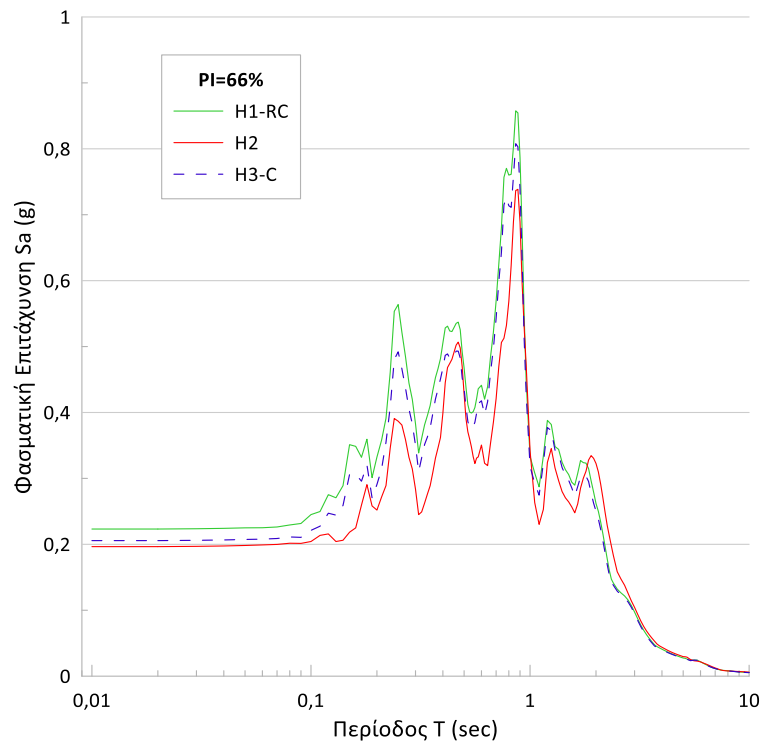


Σχήμα 167: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S1-E με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=100 m/s$



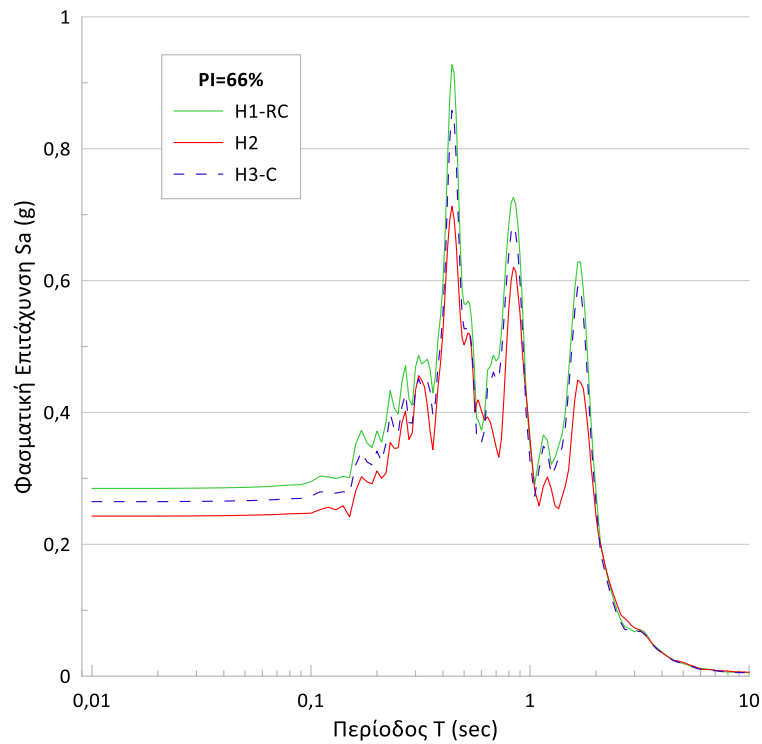
Σχήμα 168: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1-E με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=100 m/s$

## Tabas



Σχήμα 169: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=20-100 m/s$

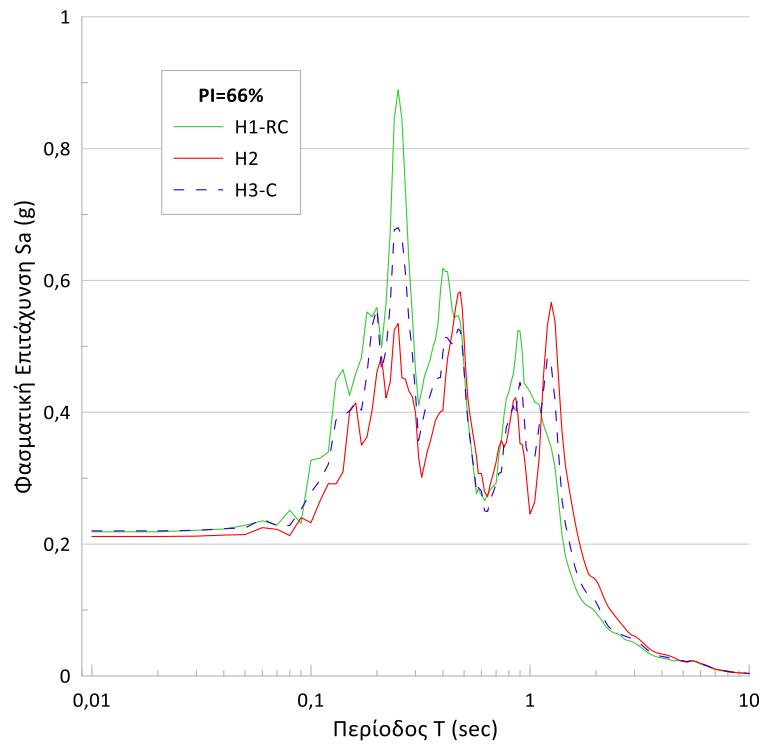
## Taft



Σχήμα 170: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=20-100 m/s$

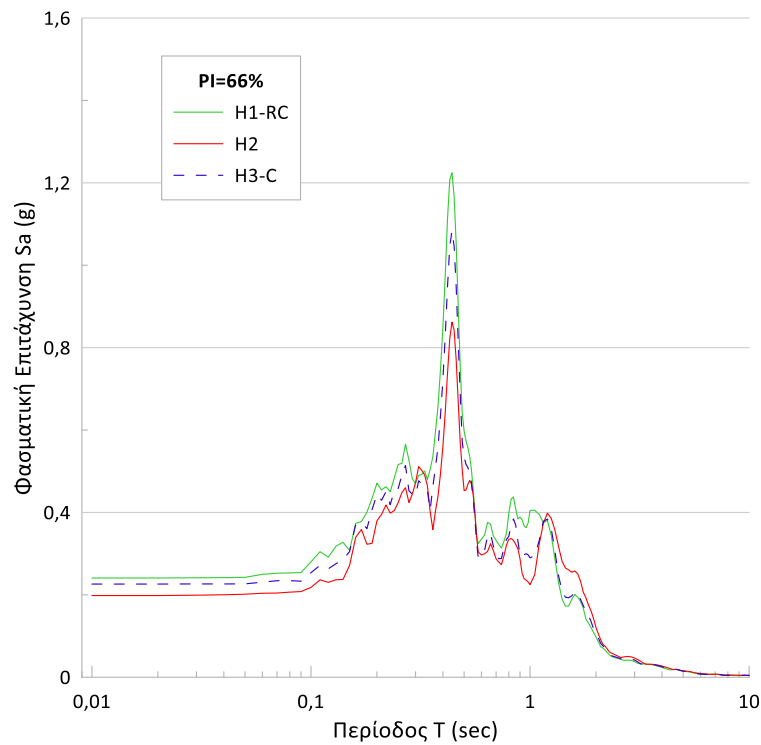
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### Tabas



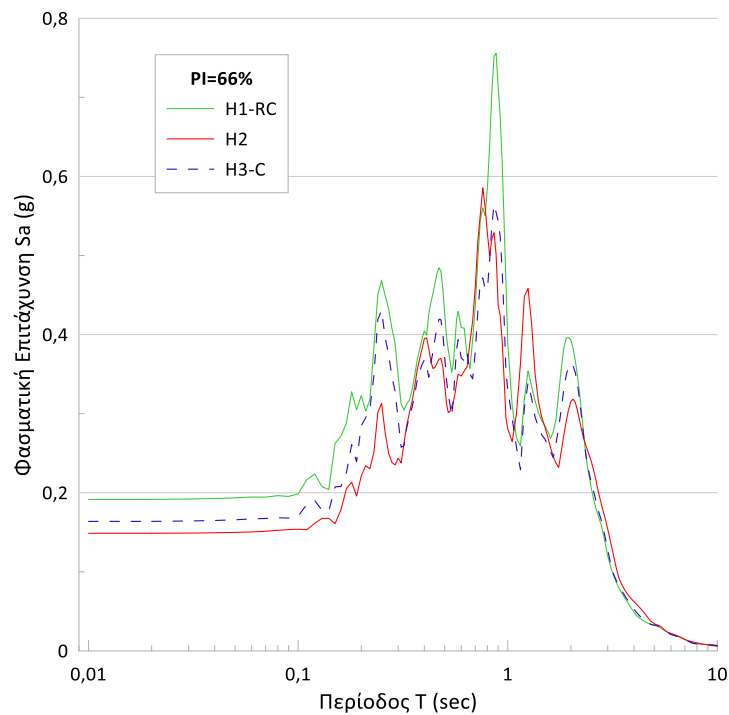
Σχήμα 171: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=50-100$  m/s

### Taft



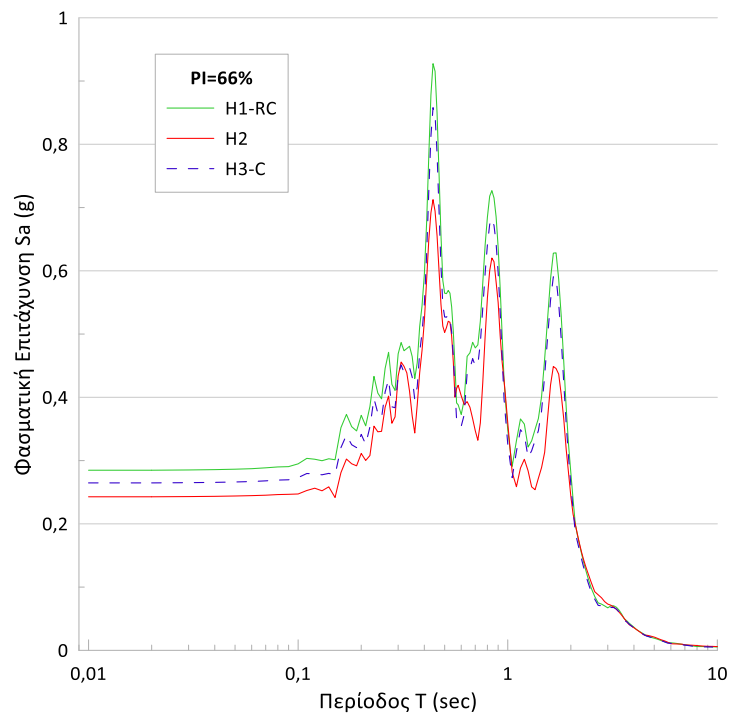
Σχήμα 172: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=20m$  και  $V_s=50-100$  m/s

## Tabas



Σχήμα 173: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=20-100 m/s$

## Taft

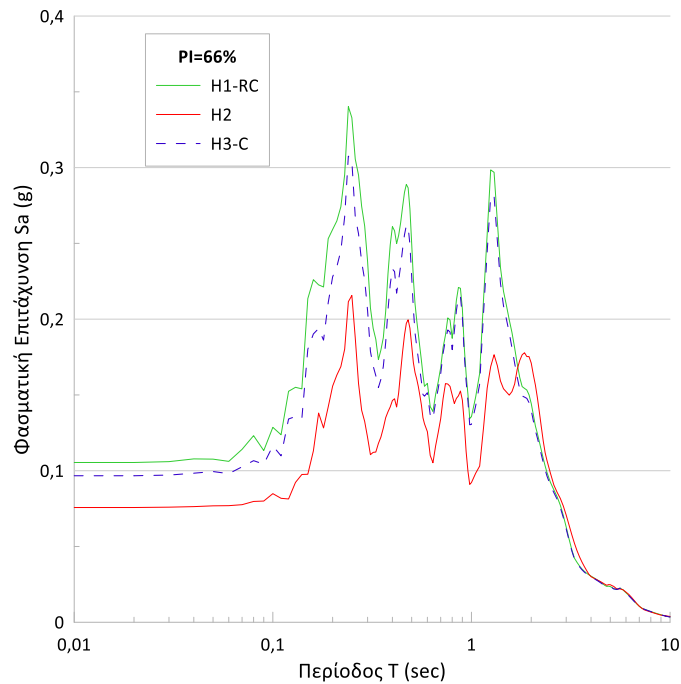


Σχήμα 174: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1 με  $PI=66\%$ ,  $z=30m$  και  $V_s=20-100 m/s$

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

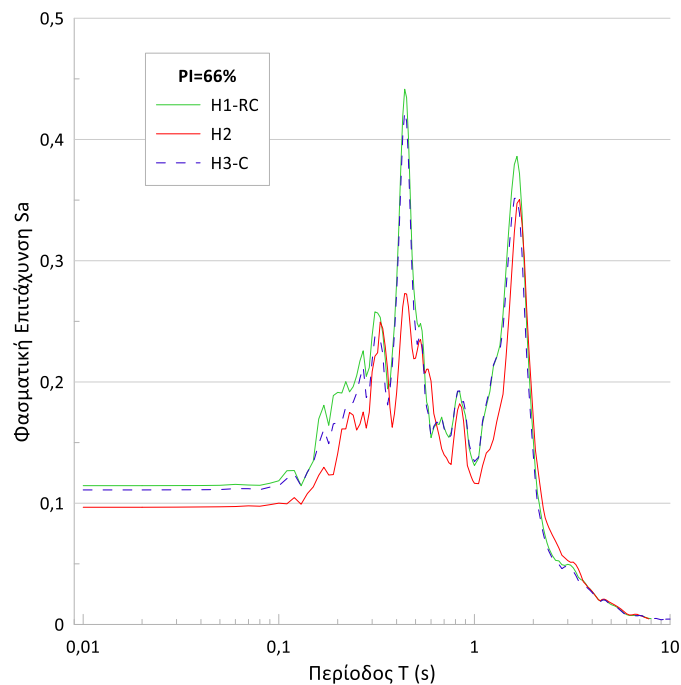
#### 4.1.5 Έδαφος κατηγορίας S2

##### Tabas



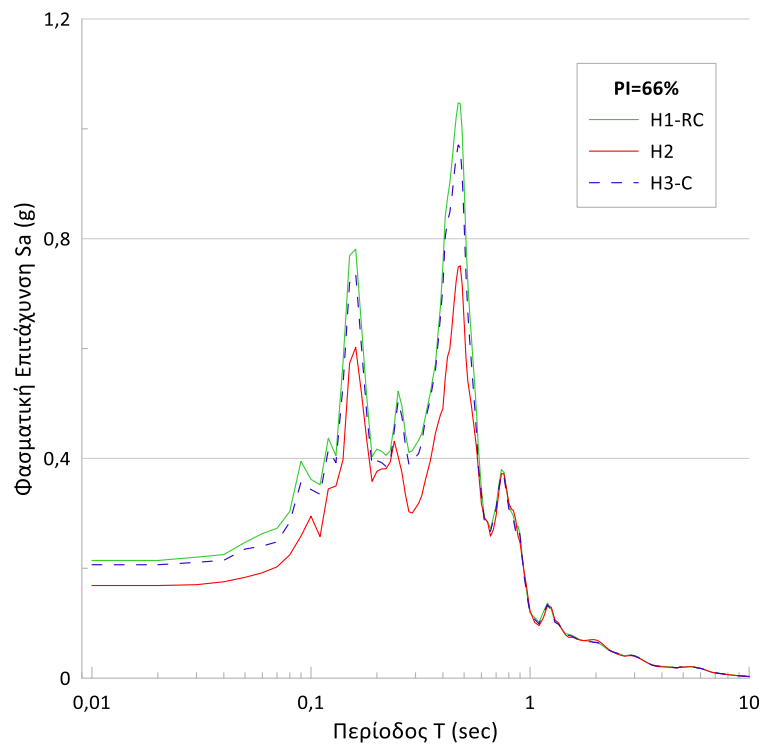
Σχήμα 175: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S2 με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=20m/s$

##### Taft



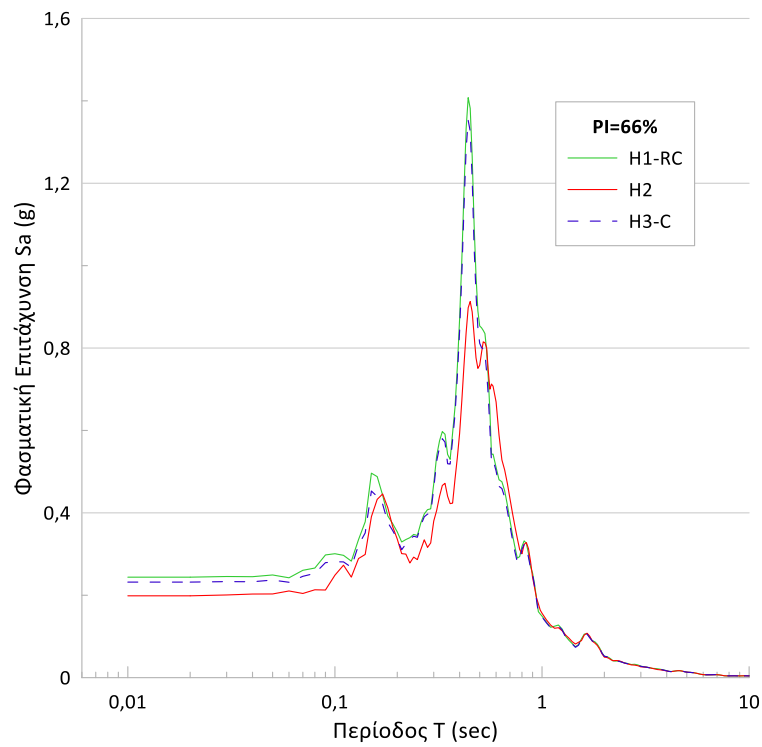
Σχήμα 176: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S2 με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=20m/s$

## Tabas



Σχήμα 177: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S2 με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=50m/s$

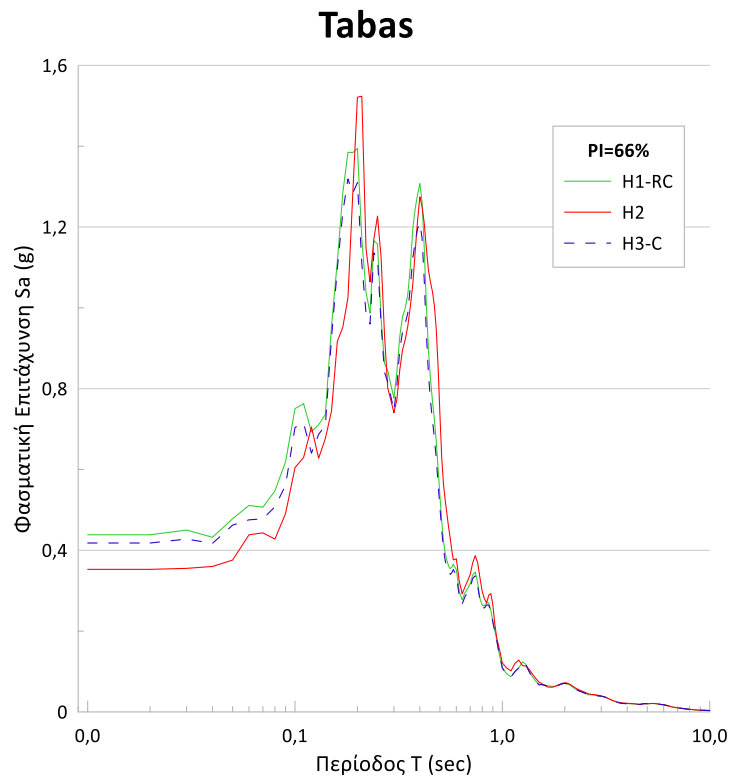
## Taft



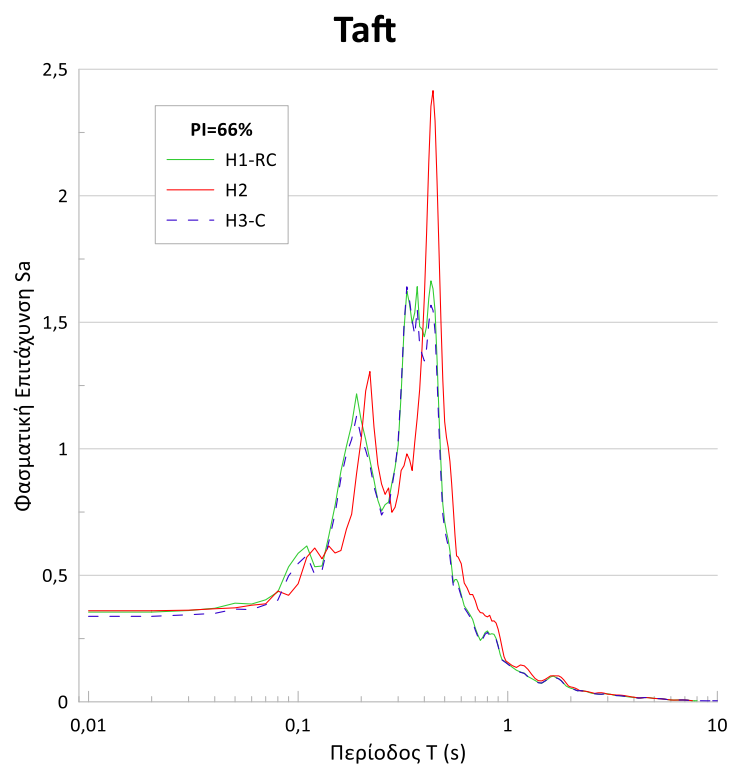
Σχήμα 178: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S2 με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=50m/s$



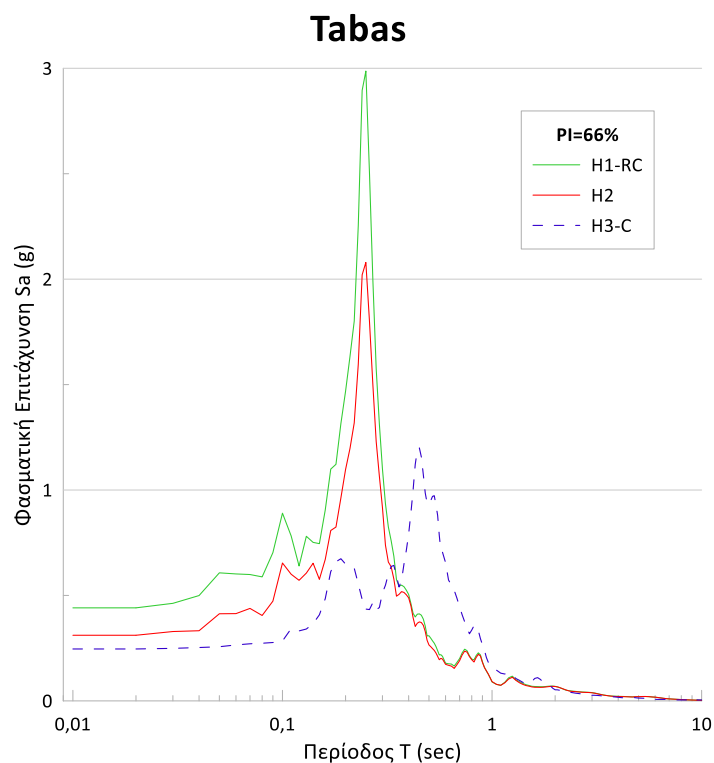
Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας



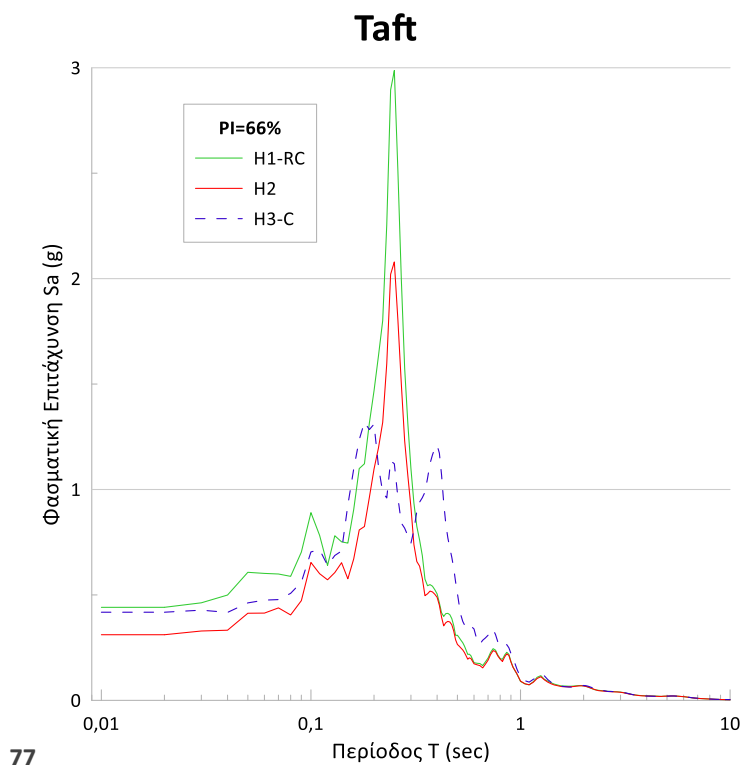
Σχήμα 179: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S2 με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=20-100$  m/s



Σχήμα 180: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S2 με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=20-100$  m/s



Σχήμα 181: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S2 με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=50-100$  m/s



Σχήμα 182: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S2 με  $PI=66\%$ ,  $z=5m$  και  $V_s=50-100$  m/s

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη  
σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 Πίνακες Σύγκρισης Αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων θεωρήθηκε σκόπιμη η σύνταξη συγκεντρωτικών πινάκων που περιλαμβάνουν την ποσοστιαία μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της διαφοράς μεταξύ των τιμών των δυναμικών μεγεθών που προτείνουν οι δυο βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν.

Επομένως για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας (PI=27%):

- Η ποσοστιαία αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$ -γ εκτιμήθηκε από τη διαφορά των μέγιστων φασματικών επιταχύνσεων  $\frac{M3-(M4-C)}{M4} \times 100\%$
- Η ποσοστιαία αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης λόγω τη θέσης των καμπυλών DT-γ προκύπτει από τη διαφορά των μέγιστων φασματικών επιταχύνσεων  $\frac{(M1-RC)-(M2-RC)}{(M2-RC)} \times 100\%$
- Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των καμπυλών Vucetic & Dobry (1991) και Kalligiorgi et al. (2008) προκύπτει από τη διαφορά των μέγιστων φασματικών επιταχύνσεων  $\frac{M3-(M2-RC)}{(M2-RC)} \times 100\%$

Αντίστοιχα για τα εδάφη υψηλής πλαστικότητας (PI=66%):

- Η ποσοστιαία αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$ -γ εκτιμήθηκε από τη διαφορά των μέγιστων φασματικών επιταχύνσεων  $\frac{(H3-C)-H2}{H2} \times 100\%$
- Η ποσοστιαία αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης λόγω τη θέσης των καμπυλών DT-γ προκύπτει από τη διαφορά των μέγιστων φασματικών επιταχύνσεων  $\frac{(H3-C)-(H1-RC)}{(H1-RC)} \times 100\%$
- Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των καμπυλών Vucetic & Dobry (1991) και Kalligiorgi et al. (1991) προκύπτει από τη διαφορά των μέγιστων φασματικών επιταχύνσεων  $\frac{(H1-RC)-H2}{H2} \times 100\%$

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

### 5.1.1 Πίνακες Σύγκρισης Αποτελεσμάτων σεισμού Taft

Πίνακας 3: Αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης του σεισμού Taft λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$ - $\gamma$

Σεισμική δόνηση: TAFT												
Vs (m/sec)	20	50	100	20-100	50-100	150	180	100-180	270	360	180-360	
Βάθος (m)	$[M3-(M4-C)]/(M4-C)*100\%$ $[(H3-C)-H2]/H2*100\%$											PI(%)
5		-8,25	3,69		13,15	1,13	1,63	0,09	0,05	0,01	0,02	27
	20,63	48,16	3,03	-32,10	14,73	3,05	0,50	-3,23	-0,02	0,00	0,00	66
10		-6,03	-3,31		14,39	-2,00	1,58	-5,06	1,13	-0,31	-1,49	27
	8,84	0,47	30,97	-1,42	19,30	4,59	8,69	-0,01	-1,65	-0,37	-21,39	66
20		-14,83	-6,64		-38,41	-6,05	-2,74	-1,20	-1,56	-0,68	-1,50	27
		-15,20	26,95	20,41	25,67	1,24	28,70	-4,18	-7,82	0,17	4,04	66
30			-56,05			-6,08	0,00	9,81	-4,41	1,73	2,08	27
			34,65	51,26		19,75	-6,53	1,60	14,91	-28,59	-7,28	66
60							-5,43	-6,26	-2,93	1,48	-4,70	27
							41,09	-12,27	-9,08	4,70	-5,84	66

Πίνακας 4: Αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης του σεισμού Taft λόγω της θέσης των καμπυλών DT-γ

Σεισμική δόνηση: TAFT												
Vs (m/sec)	20	50	100	20-100	50-100	150	180	100-180	270	360	180-360	
Βάθος (m)	$\frac{[(M1-RC)-(M2-RC)]}{(M2-RC)} \cdot 100\%$ $\frac{[(H3-C)-(H1-RC)]}{(H1-RC)} \cdot 100\%$											PI(%)
5		6,40	16,38	1,61	33,45	32,65	21,53	21,81	0,09	0,03	0,03	27
	-4,23	-3,91	-1,35	-1,42	-4,07	3,54	6,87	4,99	-0,00	0,00	-0,02	66
10	23,97	23,58	8,60		16,14	27,05	26,07	60,38	24,68	12,49	18,26	27
	-5,94	-3,28	-5,06	-4,68	-16,53	0,31	0,71	0,55	5,30	7,99	28,54	66
20		22,32	15,44		-21,04	15,35	9,07	19,14	22,32	12,51	34,92	27
		-5,77	-4,13	-7,49	-11,55	-1,87	-1,47	-0,67	1,01	3,45	17,20	66
30			13,72	14,01		30,68	17,80	11,21	3,29	12,56	15,59	27
			-4,03	21,31		-1,44	0,75	-2,50	1,52	2,73	0,59	66
60							23,35	32,01	37,28	8,50	35,10	27
							-3,19	-4,24	0,18	2,74	0,23	66

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

Πίνακας 5: Σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των καμπυλών Vucetic & Dobry (1991) και των Kallioğlu et al.(2008) για τον σεισμό Taft

Σεισμική δόνηση: TAFT												
Vs (m/sec)	20	50	100	20-100	50-100	150	180	100-180	270	360	180-360	
Βάθος (m)	$\frac{[M3-(M2-RC)]}{(M2-RC)} \cdot 100\%$ $\frac{[(H1-RC)-H2]}{H2} \cdot 100\%$											PI(%)
5		-9,55	9,38	-45,82	28,02	22,51	17,42	23,65	0,09	0,02	0,01	27
	25,96	54,19	4,44	-31,12	19,59	-0,47	-5,96	-7,83	-0,02	-0,00	0,02	66
10	6,71	0,69	1,62		14,55	10,44	15,68	48,88	20,52	12,38	35,79	27
	15,71	3,88	37,95	3,41	42,92	4,26	7,92	-0,55	-6,60	-7,74	-38,84	66
20		-4,86	2,77		-30,98	0,91	1,59	6,85	12,66	12,91	9,93	27
		-10,01	32,42	30,16	42,08	3,16	30,61	-3,53	-8,73	-3,17	-11,23	66
30			-0,97	9,64		7,51	8,34	12,82	-0,87	9,31	4,57	27
			40,30	24,69		21,50	-7,22	4,21	13,19	-30,49	-7,82	66
60							2,34	6,32	13,13	13,50	4,42	27
							45,74	-8,38	-9,25	1,91	-6,06	66

### 5.1.2 Πίνακες Σύγκρισης Αποτελεσμάτων σεισμού Tabas

Πίνακας 6: Αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης του σεισμού Tabas λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$ - $\gamma$

Σεισμική δόνηση: TABAS												
Vs (m/sec)	20	50	100	20-100	50-100	150	180	100-180	270	360	180-360	
Βάθος (m)	$[M3-(M4-C)]/(M4-C)*100\%$ $[(H3-C)-H2]/H2*100\%$											PI(%)
5		6,04	-6,64		-7,90	-0,34	1,27	-0,69	1,01	-0,70	0,53	27
	14,13	9,38	-6,32	-13,44	-43,18	0,56	1,06	-3,44	-0,44	-0,00	0,00	66
10		6,48	-11,04		-6,81	37,11	9,70	-3,96	-0,27	2,50	21,10	27
	41,33	31,48	-3,75	11,86	22,72	16,51	-10,35	19,01	-3,31	-1,21	-31,84	66
20		-5,68	-9,95		-10,38	13,85	-1,68	-4,10	-2,79	0,44	25,72	27
		-0,55	26,25	9,37	16,71	-9,51	0,84	42,17	5,61	-3,12	5,22	66
30			-7,73			-10,71	-2,75	-3,40	-1,86	0,96	0,74	27
			25,25	-3,66		10,45	-12,04	-1,73	-3,41	4,40	4,22	66
60							-1,78	-4,16	-0,25	-2,53	0,74	27
							3,17	22,49	12,39	-9,91	-1,97	66



Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

Πίνακας 7 : Αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης του σεισμού Tabas λόγω της θέσης των καμπυλών DT-γ

Σεισμική δόνηση: TABAS												
Vs (m/sec)	20	50	100	20-100	50-100	150	180	100-180	270	360	180-360	
Βάθος (m)	$\frac{[(M1-RC)-(M2-RC)]}{(M2-RC)} \cdot 100\%$ $\frac{[(H3-C)-(H1-RC)]}{(H1-RC)} \cdot 100\%$											PI(%)
5		21,51	12,53		4,03	28,71	19,09	23,23	19,84	1,97	19,69	27
	-9,62	-7,30	-2,99	-5,40	-55,84	1,35	4,66	1,72	5,23	6,85	7,71	66
10		19,85	8,21		29,15	5,53	12,29	6,11	20,17	13,02	19,34	27
	-3,27	-4,34	-2,51	-7,04	-1,52	0,04	0,22	0,14	2,94	1,83	-17,36	66
20		21,18	6,70		17,37	28,48	24,54	30,67	7,03	21,32	20,47	27
		-5,28	-5,46	-5,81	-23,51	-0,55	-0,12	-0,26	1,14	1,81	-8,95	66
30			26,97			10,37	20,48	17,64	17,26	18,05	19,54	27
			-4,17	-25,34		-3,86	-1,37	-4,51	2,13	0,95	5,46	66
60							33,76	21,99	27,34	32,68	18,11	27
							-0,45	7,50	0,39	1,49	0,40	66

Πίνακας 8: Σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των καμπυλών Vucetic & Dobry (1991) και των Kalligiorgou et al. (2008) για τον σεισμό Tabas

Σεισμική δόνηση: TABAS												
Vs (m/sec)	20	50	100	20-100	50-100	150	180	100-180	270	360	180-360	
Βάθος (m)	$\frac{[M3-(M2-RC)]}{(M2-RC)} \cdot 100\% \quad \frac{[(H1-RC)-H2]}{H2} \cdot 100\%$											PI(%)
5		8,23	-0,71		-5,64	15,78	13,17	15,07	19,89	3,43	19,28	27
	26,27	17,99	-3,43	-8,49	28,68	-0,77	-3,44	-5,07	-5,39	-6,41	-7,16	66
10		0,66	-7,01		-1,10	48,29	20,00	1,37	16,95	10,78	29,62	27
	46,11	37,44	-1,27	20,34	24,61	16,46	-10,54	18,85	-6,07	-2,98	-17,53	66
20		3,00	-5,04		0,58	25,94	9,40	9,53	2,26	15,66	10,51	27
		4,99	33,54	16,12	52,58	-9,01	0,96	42,54	4,42	-4,84	15,56	66
30			6,07			-6,00	6,50	0,12	8,95	12,25	10,83	27
			30,70	29,03		14,88	-10,82	2,91	-5,42	3,42	-1,18	66
60							14,48	10,74	8,39	16,12	12,03	27
							3,64	13,95	11,96	-11,23	-2,36	66

## 5.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

### 5.2.1 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων σεισμού Taft

Εδάφη μέσης πλαστικότητας με  $PI=27\%$

Όπως προκύπτει από τον αντίστοιχο πίνακα σύγκρισης αποτελεσμάτων για τον σεισμό Taft για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας, η ποσοστιαία μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω των καμπυλών  $G/G_{max}-\gamma$  είναι αμελητέα, με μια υποτυπώδης μείωση της μεταβολής της φασματικής επιτάχυνσης όσο αυξάνεται το βάθος. Αυτό είναι λογικό, καθώς οι καμπύλες των Vucetic & Dobry (1991) και των Kallioğlu et al.(2008) για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας συγκλίνουν με πολύ μικρές αποκλίσεις.(Πίνακας 3)

Για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης του λόγου απόσβεσης στην απόκριση των εδαφών μέσης πλαστικότητας συμπληρώθηκε ο αντίστοιχος πίνακας μεταβολής της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών DT- $\gamma$  (Πίνακας 4). Παρατηρείται ότι η μεταβολή αυτή για ταχύτητες διατμητικών κυμάτων  $V_s=20-180$  m/s αυξάνεται κλιμακωτά τόσο με το βάθος όσο και με την ταχύτητα και είναι της τάξεως του 15-30%. Για μεγαλύτερες διατμητικές ταχύτητες ( $V_s=270-360$  m/s) και μικρότερο βάθος ( $z=5$  m) η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης είναι αμελητέα με μια σταδιακή κορύφωση στα 20m για να ξαναελαχιστοποιηθεί πάλι, κλιμακωτά πάντα με το βάθος, στα 60m. Επομένως το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως όσο μειώνεται ο λόγος απόσβεσης τόσο η φασματική επιτάχυνση αυξάνεται.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των καμπυλών των Vucetic & Dobry (1991) και Kallioğlu et al.(2008) προκύπτουν αποτελέσματα τα οποία οφείλονται κυρίως στην επίδραση του μέτρου απόσβεσης DT- $\gamma$  αφού οι δυο προτεινόμενες καμπύλες είναι παρόμοιες στον τρόπο που μεταβάλλεται το μέτρο διάτμησης  $G/G_{max}$  με τη διατμητική παραμόρφωση  $\gamma$ . Ωστόσο, παρατηρείται ότι πολλές τιμές έχουν μεγάλες αποκλίσεις από τις αντίστοιχες που προέκυψαν από τη σύγκριση αποτελεσμάτων λόγω της θέσης των καμπυλών DT- $\gamma$ . Αυτό ερμηνεύεται ως ότι ακόμα και οι μικρές αποκλίσεις στις καμπύλες  $G/G_{max}-\gamma$  έχουν σημαντική επίδραση στην απόκριση ειδικά σε συνδυασμό με τη διαφοροποίηση των καμπυλών DT- $\gamma$  παρά μεμονωμένα. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η μεταβολή αφορά στη μείωση της φασματικής επιτάχυνσης που αγγίζει συνήθως το 20%.(Πίνακας 5)

Εδάφη υψηλής πλαστικότητας με  $PI=66\%$

Από τους αντίστοιχους πίνακες σύγκρισης των αποτελεσμάτων για τα εδάφη υψηλής πλαστικότητας, σε μια προσπάθεια αξιόπιστης γενίκευσης και αξιολόγησης της μεταβολής της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{max}$  παρατηρείται ότι για μεγάλες διατμητικές ταχύτητες κυμάτων ( $V_s=180-360$  m/s) και βάθη έως 20m η μεταβολή αυτή είναι αμελητέα. Ελαφρά αύξηση παρατηρείται για μικρότερες διατμητικές ταχύτητες ( $V_s=20-180$  m/s) με μεταβολή της τάξης του 25-30%. Δηλαδή, ενώ για μεγάλες ταχύτητες και μικρά βάθη η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης που προτείνουν οι Kalliloglou et al. (2008) είναι αμελητέα, για μικρότερες ταχύτητες σε μεγαλύτερα βάθη, η μη γραμμικότητα του μέτρου διάτμησης οδηγεί σε αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης. (Πίνακας 3)

Όσον αφορά την επίδραση του λόγου απόσβεσης στην μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης, οι διαφορές κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα 0-5%. Αξίζει να σημειωθεί ότι για γραμμικά μεταβαλλόμενο προφίλ ταχυτήτων  $V_s=180-360$  m/s και βάθος 10m και 20m η μεταβολή αυτή παρουσιάζει αύξηση της τάξης του 28% και 17% αντίστοιχα. (Πίνακας 4) Επομένως, η επίδραση του λόγου απόσβεσης για εδάφη υψηλής πλαστικότητας είναι πολύ μικρή ώστε να επηρεάσει τη φασματική επιτάχυνση.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των καμπυλών των Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008) προκύπτει ότι για μεγάλες διατμητικές ταχύτητες ( $V_s>150$  m/s) η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης είναι αμελητέα, ενώ για μικρότερες ταχύτητες ( $V_s<150$  m/s) η μεταβολή αυτή κυμαίνεται από 15-30%. Σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την επίδραση κάθε δυναμικού μεγέθους ξεχωριστά καταλήγουμε ότι ο καθοριστικός παράγοντας για τη μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης, σε εδάφη υψηλής πλαστικότητας, είναι η σχέση που ορίζεται κυρίως από την καμπύλη  $G/G_{max}-\gamma$ , και όχι από το λόγο απόσβεσης  $DT(\%)$ , και μάλιστα η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης οδηγεί σε αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης. (Πίνακας 5)

### 5.2.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων σεισμού Tabas

#### Εδάφη μέσης πλαστικότητας με $PI=27\%$

Η αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{max}-\gamma$  είναι σχεδόν αμελητέα για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας με  $PI=27\%$  για τις περισσότερες διατμητικές ταχύτητες όσο και βάθη. Μια ελαφριά μεταβολή της τάξης του 10% παρουσιάζεται για διατμητικές ταχύτητες  $V_s=100-150\text{m/s}$  για βάθη από 5m έως 20m. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι λογικά, αφού οι καμπύλες  $G/G_{max}-\gamma$  που προτείνουν οι Vucetic & Dobry (1991) και οι Kalligiorgiou et al. (2008) για εδάφη μέσης πλαστικότητας με  $PI=27\%$ , ουσιαστικά συμπίπτουν. (Πίνακας 6)

Όσον αφορά την επίδραση της αύξησης της φασματικής επιτάχυνσης του σεισμού Tabas λόγω της θέσης των καμπυλών  $DT-\gamma$  υπάρχει μια ομοιογενής μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης της τάξης του 20% για όλες τις ταχύτητες ( $V_s=20-360\text{m/s}$ ) και για όλα τα βάθη (5m έως 60m). Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μείωση του λόγου απόσβεσης οδηγεί σε αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης, και μάλιστα συγκεκριμένα σε αύξηση κατά 20%. (Πίνακας 7)

Η διαφορά των φασματικών επιταχύνσεων μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις προτεινόμενες καμπύλες των Vucetic & Dobry (1991) και Kalligiorgiou et al. (2008) είναι πολύ μικρή για τις ταχύτητες  $V_s=20-100\text{m/s}$  για όλα τα βάθη ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες αυτή η μεταβολή διαφοροποιείται. Συγκεκριμένα για βάθος 5-10m παρατηρείται μια μεταβολή της τάξης του 20% ενώ για βάθη 20-60 m η μεταβολή αυτή κατέρχεται στο 10%. Ουσιαστικά, όπως παρατηρήθηκε παραπάνω, η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης για εδάφη μέσης πλαστικότητας οφείλεται αποκλειστικά στη διαφοροποίηση των καμπυλών  $DT-\gamma$ , εκτός από περιπτώσεις μικρών διατμητικών ταχυτήτων, όπου η επίδραση των δυναμικών μεγεθών στην απόκριση του εδάφους είναι αμελητέα. (Πίνακας 8)

#### Εδάφη υψηλής πλαστικότητας με $PI=66\%$

Η αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{max}-\gamma$  είναι μικρή για ταχύτητες  $V_s=20-150\text{m/s}$  με ποσοστό που κυμαίνεται από 5-35%, ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες η αύξηση αυτή είναι αμελητέα. Αυτό σημαίνει ότι η επίδραση της μη γραμμικότητας των καμπυλών  $G/G_{max}-\gamma$  που προτείνουν οι Kalligiorgiou et al. (2008) για μικρές σεισμικές διεγέρσεις και παραμορφώσεις είναι ισχυρότερη και οδηγεί σε αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης (Πίνακας 6).

Όσον αφορά την αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης του σεισμού Tabas λόγω της θέσης των καμπυλών  $DT-\gamma$  κυμαίνεται σε πολύ χαμηλές τιμές και είναι σχεδόν αμελητέα και ομοιόμορφη για όλα τα βάθη και τις διατμητικές ταχύτητες. Η παρατήρηση αυτή μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι για εδάφη υψηλής πλαστικότητας

η μείωση του αρχικού λόγου απόσβεσης δεν επηρεάζει τη μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης. (Πίνακας 7)

Οι μεταβολές των φασματικών επιταχύνσεων για τα αποτελέσματα που δίνουν οι Vucetic & Dobry (1991) και οι Kalliloglou et al. (2008) είναι αυξημένες για μικρά και μεσαία βάθη (5-30m) και χαμηλές ταχύτητες διατμητικών κυμάτων ( $V_s=20-50\text{m/s}$ ) που αγγίζουν το μέγιστο τη μεταβολή του 45% ( $V_s=20\text{m/s}$  και  $z=10\text{m}$ ). Για μεγαλύτερες διατμητικές ταχύτητες και σταθερό προφίλ διατμητικών ταχυτήτων η μεταβολή αυτή είναι κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα της τάξης του 10% για όλα τα βάθη ( $z=5-60\text{m}$ ). Από όλα τα παραπάνω, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης για εδάφη υψηλής πλαστικότητας οφείλεται στην επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης, η οποία είναι ιδιαίτερα αισθητή για μικρές διατμητικές ταχύτητες και μικρά βάθη, χαρακτηριστικά που προσιδιάζουν στις κατηγορίες S1 και S2 του EC8. (Πίνακας 8)

### 5.3 Σύγκριση και συσχετισμός αποτελεσμάτων σεισμών Taft και Tabas

#### 5.3.1 Εδάφη μέση πλαστικότητα με $PI=27\%$

Για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας με  $PI=27\%$  και για τους δυο σεισμούς η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$  είναι αμελητέα, με εξαίρεση μια μεταβολή της τάξης του 10% (αρκετά μικρή ώστε συμβατικά να θεωρηθεί αμελητέα) για τα αποτελέσματα του σεισμού Taft και διατμητικές ταχύτητες  $V_s=100-150\text{m/s}$ . Αξίζει να σημειωθεί ότι για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας οι δυο προτεινόμενες καμπύλες των  $G/G_{\max}$  σχεδόν συγκλίνουν και για αυτό τα αποτελέσματα των φασματικών επιταχύνσεων εμφανίζουν πολύ μικρή απόκλιση.

Όσον αφορά τη μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών DT-γ στα αντίστοιχα αποτελέσματα του σεισμού Taft για χαμηλές διατμητικές ταχύτητες  $V_s=20-180\text{m/s}$  παρατηρείται μια μεταβολή της τάξης του 15-30%, ενώ για μεγαλύτερες διατμητικές ταχύτητες  $V_s=180-360\text{m/s}$  η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης είναι αμελητέα. Αντίστοιχα, στα αποτελέσματα του σεισμού Tabas παρατηρείται μια ομοιογενής μεταβολή για όλα τα βάθη και προφίλ διατμητικών ταχυτήτων της τάξης του 20%. Επομένως, η μείωση του λόγου απόσβεσης οδηγεί σε αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης.

Τέλος, η σύγκριση των αποτελεσμάτων των καμπυλών των Vucetic & Dobry (1991) και των Kalliloglou et al. (2008) για τον σεισμό Taft παρουσιάζει μια μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης κατά 20% (μείωση που αφορά τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις καμπύλες των Vucetic & Dobry (1991) από τα αντίστοιχα των

Kalliloglou et al.(2008)). Αντίστοιχη μεταβολή παρατηρείται και για τον σεισμό Tabas για διατμητικές ταχύτητες  $V_s=100-360\text{m/s}$  και βάθη 5-10m, ενώ για τις ίδιες ταχύτητες και βάθη 20-60m η μεταβολή ανέρχεται στο 10%. Για μικρότερες ταχύτητες ( $V_s=20-100\text{m/s}$ ) η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης είναι αμελητέα.

Συμπερασματικά, για εδάφη μέσης πλαστικότητας ( $PI=27\%$ ) οι καμπύλες  $G/G_{\max}$  –  $\gamma$ -DT που προτείνονται από τους Kalliloglou et al. (2008) και τους Vucetic & Dobry (1991) διαφέρουν κυρίως ως προς το λόγο απόσβεσης, καθώς οι καμπύλες των  $G/G_{\max}$  είναι παρόμοιες, και επομένως η διαφοροποίηση στη σεισμική απόκριση οφείλεται στο λόγο απόσβεσης, ο οποίος όσο αυξάνεται τόσο μειώνεται η φασματική επιτάχυνση.

### 5.3.2 Εδάφη υψηλής πλαστικότητας με $PI=66\%$

Για τα εδάφη υψηλής πλαστικότητας με  $PI=66\%$  η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$ - $\gamma$  για τον σεισμό Taft, βάθη από 5 έως 20m και ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $V_s=180-360\text{m/s}$  είναι αμελητέα. Ωστόσο για μικρότερες διατμητικές ταχύτητες ( $V_s=20-180\text{m/s}$ ) η μεταβολή αυτή ανέρχεται στο 25-30%. Για τον σεισμό Tabas, κατά παρόμοιο τρόπο με τον σεισμό Taft, για μεγάλες διατμητικές ταχύτητες κυμάτων ( $V_s=180-360\text{m/s}$ ) η μεταβολή αυτή είναι αμελητέα, ενώ για μικρότερες ταχύτητες ( $V_s=20-180\text{m/s}$ ) παρατηρείται μια αύξηση αυτής της μεταβολής ανάλογη με την αύξηση του βάθους και αντιστρόφως ανάλογη με την αύξηση της ταχύτητας που με μεγάλη διακύμανση προσεγγίζει το 25-30%. Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι για κατηγορίες εδαφους S1 και S2 κατά EC8 η επίδραση της μη γραμμικότητας των καμπυλών  $G/G_{\max}$  οδηγεί σε αύξηση των φασματικών επιταχύνσεων.

Όσον αφορά τη μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών DT- $\gamma$  συμφωνεί και για τους δυο σεισμούς Taft και Tabas σε χαμηλά επίπεδα, που στις περισσότερες περιπτώσεις δεν ξεπερνούν το 5%. Επομένως, για εδάφη υψηλής πλαστικότητας η επίδραση της διαφοροποίησης του λόγου απόσβεσης στη μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης είναι αμελητέα.

Τέλος, η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις καμπύλες Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008) για εδάφη υψηλής πλαστικότητας για τον σεισμό Taft με διατμητικές ταχύτητες  $V_s=20-150\text{m/s}$ , η μεταβολή αυτή ανέρχεται στο 15-30% ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες  $V_s=150-360\text{m/s}$  η μεταβολή αυτή είναι αμελητέα. Κατά παρόμοιο τρόπο για τον σεισμό Tabas, η μεταβολή αυτή για μικρές διατμητικές ταχύτητες ( $V_s=20-100\text{m/s}$ ) είναι αξιόλογου μεγέθους και κυμαίνεται προσεγγιστικά σε ποσοστά 25-45%, ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες αυτή η μεταβολή ελαχιστοποιείται σε σχεδόν μηδενικά επίπεδα. Σε συνδυασμό με τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι και για τις δυο σεισμικές διεγέρσεις, η επίδραση στην σεισμική απόκριση είχε μόνο η μη γραμμικότητα του μέτρου διάτμησης, ενώ η επίδραση του λόγου απόσβεσης σε αυτή αποδείχθηκε αμελητέα. Αξίζει να σημειωθεί ότι για

μεγάλες διατμητικές ταχύτητες κυμάτων η επίδραση της μη γραμμικότητας και των δυο δυναμικών μεγεθών στη σεισμική απόκριση των εδαφών υψηλής πλαστικότητας είναι αμελητέα.

## 5.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων ανά κατηγορία εδάφους EC8

Μετά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ανάλογα της πλαστικότητας του εδάφους κρίνεται χρήσιμη η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων κατά κατηγορία εδάφους σύμφωνα με τον EC8.

### 5.4.1 Κατηγορία εδάφους C

Η κατηγορία εδάφους C αφορά σε εδάφη μέσης πυκνότητας και σκληρότητας. Σύμφωνα με τον ορισμό από τον EC8 πρόκειται για πολύ πυκνή άμμο ή αμμοχάλικο, ή σκληρή άργιλο, αρκετών δεκάδων ή εκατοντάδων μέτρων, με  $V_s=180-360\text{m/s}$ ,  $N_{SPT}=15-50$  και μέγιστη διατμητική αντοχή  $c_u=70-250\text{ kPa}$ .

Ως προς τη συμπεριφορά του εδάφους για τον σεισμό Tabas και μέση πλαστικότητα με  $PI=27\%$ , η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{max}$  είναι αμελητέα, ενώ λόγω της θέσης των καμπυλών DT-γ κυμαίνεται σε αυξητικό ποσοστό της τάξης του 20-30%. Από από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις καμπύλες που προτείνουν οι Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008) το ποσοστό αυτό αγγίζει το 10-15%.

Αντίστοιχα για τα εδάφη υψηλής πλαστικότητας με  $PI=66\%$ , η ποσοστιαία μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{max}$  είναι επίσης αμελητέα, όπως και λόγω της θέσης των καμπυλών DT-γ, ενώ από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των καμπυλών Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008) η μεταβολή αυτή κατά γενίκευση θεωρείται αμελητέα με μεμονωμένες περιπτώσεις ταχύτητας διατμητικών κυμάτων και βάθους να εμφανίζουν μεταβολή έως και 10%.

Από την επισκόπηση των αποτελεσμάτων του σεισμού Taftt προκύπτει ότι για μέση πλαστικότητα με  $PI=27\%$ , η μεταβολή των καμπυλών λόγω της θέσης  $G/G_{max}$  είναι αμελητέα, ενώ λόγω της θέσης του DT-γ η αύξηση κυμαίνεται στα ποσοστά 20-30%. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο βιβλιογραφικών αναφορών στο σύνολό τους ως προς τα δυναμικά μεγέθη αυτή ανέρχεται στο 10-15%.

Για τα εδάφη υψηλής πλαστικότητας με  $PI=66\%$ , η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{max}$  ανέρχεται στο 10%, ενώ λόγω των



καμπυλών DT-γ είναι αμελητέα. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων Vucetic & Dobry (1991) παρατηρείται μια μείωση της φασματικής επιτάχυνσης της τάξης του 10%.

Αυτά τα αποτελέσματα προκύπτουν λογικά από την ομοιότητα των καμπυλών  $G/G_{max}$  -γ για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας με  $PI=27\%$  και κατηγορία εδάφους C, και καταλήγουμε ότι όσο αυξάνεται ο λόγος απόσβεσης τόσο μειώνεται η φασματική επιτάχυνση. Για τα εδάφη υψηλής πλαστικότητας με  $PI=66\%$ , η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης είναι αμελητέα.

#### 5.4.2 Κατηγορία εδάφους D

Σύμφωνα με τον EC8 η κατηγορία εδάφους D πρόκειται για χαλαρή έως μετρίως χαλαρή άμμο ή αμμοχάλικο ή μαλακή έως μετρίως σκληρή άργιλος με μέση διατμητική ταχύτητα κυμάτων  $V_{s,30}<180\text{m/s}$ , αριθμό κρούσεων/0,3m στην Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης  $N_{SP,T}<15$  και αστράγγιστη διατμητική αντοχή  $c_u<70\text{KPa}$ .

Από τα αποτελέσματα για τον σεισμό Tabas για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας με  $PI=27\%$  η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{max}$  είναι αμελητέα, ενώ λόγω των καμπυλών DT-γ κυμαίνεται σε χαμηλά ποσοστά της τάξης του 15-20%. Από τη σύγκριση των φασματικών επιταχύνσεων για τις καμπύλες δυναμικών μεγεθών των Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008) προκύπτει επίσης αμελητέα διαφορά.

Για εδάφη υψηλής πλαστικότητας με  $PI=66\%$  η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{max}$  κυμαίνεται σε επίπεδα 10-35%, λόγω της θέσης των καμπυλών DT-γ αμελητέα και από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008) προκύπτει μια ποσοστιαία αύξηση της τάξης του 20-40%.

Αντίστοιχα από τα αποτελέσματα του σεισμού Taft για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας, προκύπτει ότι η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης εξαιτίας της θέσης των καμπυλών  $G/G_{max}$  είναι αμελητέα, ενώ από τη θέση των καμπυλών DT-γ ανέρχεται στο 10-30%. Από τη σύγκριση συνολικά των φασματικών επιταχύνσεων από τις καμπύλες Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008) προκύπτει μεταβολή της τάξης του 10%.

Για τα εδάφη υψηλής πλαστικότητας  $PI=66\%$  η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης εξαιτίας της θέσης των καμπυλών  $G/G_{max}$  ανέρχεται στο ποσοστό 20-35%, ενώ εξαιτίας της θέσης των καμπυλών DT-γ είναι αμελητέα. Από τα αποτελέσματα των καμπυλών Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008) προκύπτει ελάχιστη μεταβολή.

### 5.4.3 Κατηγορία εδάφους Ε

Σύμφωνα με τον EC8 αυτή η κατηγορία αφορά σε επιφανειακό στρώμα C ή D πάχους 5 έως 20m και υπόστρωμα με  $V_s > 800\text{m/s}$  και αφορά στην παρούσα εργασία την επικρατούσα κατηγορία προς διερεύνηση.

Για τον σεισμό Tabas και για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας  $PI=27\%$  η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$ - $\gamma$  είναι αμελητέα, ενώ λόγω της θέσης των καμπυλών DT- $\gamma$  παρουσιάζει μια αύξηση της τάξης του 20%. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις καμπύλες Vucetic & Dobry (1991) και Kallioğlu et al. (2008) για μικρές ταχύτητες ( $V_s=50\text{-}100\text{m/s}$ ) είναι αμελητέα ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες ( $V_s=150\text{-}360\text{m/s}$ ) παρατηρείται μια αύξηση που αντιστοιχεί σε ποσοστό 15-20%.

Για τα εδάφη υψηλής πλαστικότητας με  $PI=66\%$ , η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$  -  $\gamma$  είναι αμελητέα, όπως επίσης και λόγω των καμπυλών DT- $\gamma$ . Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις καμπύλες Vucetic & Dobry (1991) και Kallioğlu et al. (2008) αυτή η μεταβολή είναι πάλι πολύ μικρή.

Αντίστοιχα για τον σεισμό Taft, για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας με  $PI=27\%$ , η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$ - $\gamma$  είναι αμελητέα, ενώ λόγω των καμπυλών DT- $\gamma$  παρουσιάζει μεταβολή της τάξης του 25%. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο προτεινόμενων βιβλιογραφικών αναφορών αυτή η μεταβολή αγγίζει για μεσαίες ταχύτητες ( $V_s=100\text{-}180\text{m/s}$ ) το 15-20% ενώ κατά τα άλλα είναι αμελητέα.

Για τα εδάφη υψηλής πλαστικότητας με  $PI=66\%$ , τα αποτελέσματα μεταβολής φασματικής επιτάχυνσης για όλες τις καμπύλες προέκυψαν αμελητέας τιμής.

#### 5.4.4 Έδαφος κατηγορίας εδάφους S1

Αυτή η κατηγορία του EC8 αναφέρεται σε βάθη μεγαλύτερα των 10m μαλακής αργίλου/ιλύος με δείκτη πλαστικότητας  $PI > 40$  και υψηλή περιεκτικότητα νερού. Η μέση τιμή διατμητικών κυμάτων  $V_{s,30} < 100 \text{ m/s}$  και η αστράγγιστη διατμητική αντοχή  $c_u = 10\text{-}20 \text{ kPa}$ .

Για τον σεισμό Tabas στα εδάφη υψηλής πλαστικότητας με  $PI = 66\%$ , η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$  – $\gamma$  είναι αμελητέα, όπως και λόγω της θέσης των καμπυλών DT- $\gamma$ . Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης ανάμεσα στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις καμπύλες δυναμικών μεγεθών και των δύο βιβλιογραφικών αναφορών υπό διερεύνηση, τα οποία ποικίλουν και σημειώνουν μεταβολή της τάξης του 20-45%.

Για τον σεισμό Taft στα εδάφη μέσης πλαστικότητας με  $PI = 27\%$ , η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$  ανέρχεται στο ποσοστό της τάξεως του 10-20%. Το αντίστοιχο ποσοστό λόγω της διαφοροποίησης του μεγέθους DT-  $\gamma$  των δύο βιβλιογραφιών είναι αμελητέο. Τέλος η μεταβολή που οφείλεται στη διαφοροποίηση των καμπυλών Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008) ανέρχεται στο 15-35%.

#### 5.4.5 Έδαφος κατηγορίας S2

Για τον σεισμό Tabas και τα εδάφη υψηλής πλαστικότητας με  $PI = 66\%$  η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών  $G/G_{\max}$  ανέρχεται σε ποσοστό της τάξης του 20%, λόγω των καμπυλών DT- $\gamma$  είναι αμελητέα, ενώ λόγω των καμπυλών DT- $\gamma$  είναι αμελητέα. Από τα αποτελέσματα των Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008) η μεταβολή αυτή ανέρχεται στο 20%.

Για τον σεισμό Taft, η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης παρουσιάζει αύξηση σε σχέση με την αντίστοιχη του Tabas, με το ποσοστό να ανέρχεται στο 20% για τις καμπύλες που διαφοροποιούνται για το δυναμικό μέγεθος του  $G/G_{\max}$ . Η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης λόγω της θέσης των καμπυλών DT- $\gamma$  είναι αμελητέα. Τέλος, από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των Vucetic & Dobry (1991) και Kalliloglou et al. (2008) το ποσοστό αυτό ανέρχεται στο 25-50%, φανερά αυξημένο σε σχέση με τα αποτελέσματα του Tabas.

## 5.5 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, για τα εδάφη μέσης πλαστικότητας με  $PI=27\%$ , τα οποία διαφέρουν μόνο στις αποσβέσεις, η επίδραση της απόσβεσης κρίνεται σημαντική, και οδηγεί σε μείωση της φασματικής επιτάχυνσης με την αύξηση της απόσβεσης. Από τις αναλύσεις προέκυψε ότι για την κατηγορία εδάφους M1-RC, στην οποία η απόσβεση είχε τη μικρότερη αρχική τιμή, σημειώνονται οι μεγαλύτερες φασματικές επιταχύνσεις. Ωστόσο η επίδραση του λόγου απόσβεσης στη φασματική επιτάχυνση μειώνεται με τρόπο ανάλογο της μείωσης του βάθους του εδαφικού στρώματος. Από τη σύγκριση μεταξύ των κατηγοριών M3 και M1-RC ή M2-RC προκύπτει μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης που αγγίζει το 49%, εξαιτίας της διαφοράς των καμπυλών DT-γ που πρότειναν οι Vucetic & Dobry (1991) σε σχέση αυτών που προτάθηκαν από τους Kallioğlu et al. (2008).

Για τα εδάφη υψηλής πλαστικότητας με  $PI=66\%$  η επίδραση της καμπύλης  $G/G_{max}$  των Kallioğlu et al. (2008) λόγω της αυξημένης γραμμικότητας οδηγεί σε αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης για όλες τις κατηγορίες εδάφους υψηλής πλαστικότητας είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή που παρατηρήθηκε στα εδάφη μέσης πλαστικότητας.

Τέλος, τα αποτελέσματα των Vucetic & Dobry (1991) σε σχέση με των Kallioğlu et al. (2008) δίνουν αυξημένες φασματικές επιταχύνσεις για όλες τις κατηγορίες εδάφους, αναδεικνύοντας μεν τις δεύτερες ως πιο εξειδικευμένες για χρήση στον ελλαδικό χώρο προς αξιόπιστες και οικονομικές κατασκευαστικές λύσεις, αλλά οι καμπύλες δυναμικών μεγεθών των Vucetic & Dobry (1991) καλύπτουν τις δυσμενέστερες περιπτώσεις που είναι πάντα το κριτήριο για τη δημιουργία του φάσματος σχεδιασμού υπέρ της ασφάλειας των κατασκευών.

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη  
σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

---

### Οδηγίες χρήσης υπολογιστικού προγράμματος EERA

## Βιβλιογραφία

---

- Bardet, Ichii, Lin. «EERA Manual.» *University of Southern California, Department of Civil Engineering*. 2000.
- Kallioglou, P., Tika, Th. and Pitilakis, K., Shear modulus and damping ratio of cohesive soils, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 12, No. 6, pp. 879-913, 2008
- Kramer, Steven. *Geotechnical Earthquake Enginnering* . Pearson, 1996.
- Ordonez, Gustavo A. «SHAKE.» *User's Mannual*. 2000.
- «www.seismoι-online.gr.» n.d. <https://www.seismoι-online.gr/klimakestwneismwn.htm> (πρόσβαση Αύγουστος 2018).
- ΑΠΘ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. «Μικροζωνική μελέτη Π.Σ. Βόλου-Ν. Ιωνίας.» *Εργαστήριο Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων* . n.d.
- Γ., Γκαζέτας. *Σημειώσεις Εδαφομηχανικής*. Εκδόσεις ΕΜΠ, 2005.
- Καλλιόγλου Π., Μελέτη των δυναμικών ιδιοτήτων εδαφών στη συσκευή στήλης-συντονισμού, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., 2003
- Κυριαζής, Πιτιλάκης. *Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική*. Ζήτη, 2010.

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Κατηγορίες εδάφους όπως ορίζονται από τον EC8 .....	32
Πίνακας 2: Κατηγορίες εδάφους ανάλογα των φυσικών χαρακτηριστικών του εδαφικού προφίλ ( $z(m)$ , $PI(\%)$ , $V_s$ ) σύμφωνα με τις οποίες πραγματοποιήθηκε η παραμετρική ανάλυση .....	39
Πίνακας 3: Αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης του σεισμού Taft λόγω της θέσης των καμπυλών $G/G_{max}-\gamma$ .....	129
Πίνακας 4: Αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης του σεισμού Taft λόγω της θέσης των καμπυλών $DT-\gamma$ .....	130
Πίνακας 5: Σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των καμπυλών Vucetic & Dobry (1991) και των Kalliloglou et al.(2008) για τον σεισμό Taft.....	131
Πίνακας 6: Αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης του σεισμού Tabas λόγω της θέσης των καμπυλών $G/G_{max}-\gamma$ .....	132
Πίνακας 7 : Αύξηση της φασματικής επιτάχυνσης του σεισμού Tabas λόγω της θέσης των καμπυλών $DT-\gamma$ .....	133
Πίνακας 8: Σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των καμπυλών Vucetic & Dobry (1991) και των Kalliloglou et al. (2008) για τον σεισμό Tabas.....	134

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Κατηγορίες σεισμικών κυμάτων .....	18
Σχήμα 2: Ορισμός και απεικόνιση του φάσματος (λόγου) μεταφοράς σεισμικής κίνησης .....	20
Σχήμα 3: Μοντελοποίηση εδάφους σε ισοδύναμο σύστημα ελατηρίων .....	26
Σχήμα 4: Καμπύλες απομείωσης μέτρου διάτμησης και αύξησης του λόγου απόσβεσης με τη διατμητική παραμόρφωση για εδάφη με διαφορετικές πλαστικότητες, που πρότειναν οι Vucetic & Dobry (1991).....	29
Σχήμα 5: Προτεινόμενες καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης $G/G_{max}$ με τη διατμητική παραμόρφωση για κανονικά στερεοποιημένα και υπερστερεοποιημένα εδάφη με διαφορετικές πλαστικότητες (Kalliloglou et al., 2008) .....	30
Σχήμα 6: Μεταβολή του ελάχιστου λόγου απόσβεσης $DT_{min}$ με το δείκτη πόρων στην τάση πεδίου, $e_{isitu}$ , για φυσικά αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα με διάφορα ποσοστά ανθρακικών συστατικών, CC (Kalliloglou et al., 2008) .....	31
Σχήμα 7: Μεταβολή της αύξησης του λόγου απόσβεσης, $DT-DT_{min}$ , με το κανονικοποιημένο μέτρο διάτμησης $G/G_{max}$ , στην τάση πεδίου (Kalliloglou et al., 2008).....	31
Σχήμα 8: Καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης, $G/G_{max}$ , και του λόγου απόσβεσης, $DT$ , με τη διατμητική παραμόρφωση, $\gamma$ , για την κατηγορία εδάφους με $PI=27\%$ .....	35
Σχήμα 9: Καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης $G/G_{max}$ και του λόγου απόσβεσης $DT$ , με τη διατμητική παραμόρφωση $\gamma$ για την κατηγορία εδάφους με $PI=66\%$ ... ..	37
Σχήμα 10: Εδαφική τομή με τα στοιχεία των υπό μελέτη κατηγοριών εδάφους .....	38
Σχήμα 11: Χρονοϊστορία της επιτάχυνσης για το σεισμό Taft.....	40
Σχήμα 12: Φάσμα Fourier του σεισμού Taft .....	40
Σχήμα 13: Χρονοϊστορία της επιτάχυνσης για το σεισμό Tabas.....	41
Σχήμα 14: Φάσμα Fourier του σεισμού Tabas .....	41
Σχήμα 15: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με $PI=27\%$ , $z=30m$ και $V_s=180m/s$ .....	43
Σχήμα 16: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας C με $PI=66\%$ , $z=30m$ και $V_s=180m/s$ .....	43

[illegible]



[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Η επίδραση της μη γραμμικότητας του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης στη  
σεισμική απόκριση εδαφών μέσης και υψηλής πλαστικότητας

Σχήμα 172: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1 με $PI=66\%$ , $z=20m$ και $V_s=50-100$ m/s .....	121
Σχήμα 173: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S1 με $PI=66\%$ , $z=30m$ και $V_s=20-100$ m/s .....	122
Σχήμα 174: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S1 με $PI=66\%$ , $z=30m$ και $V_s=20-100$ m/s .....	122
Σχήμα 175: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S2 με $PI=66\%$ , $z=5m$ και $V_s=20m/s$	123
Σχήμα 176: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S2 με $PI=66\%$ , $z=5m$ και $V_s=20m/s$ ....	123
Σχήμα 177: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S2 με $PI=66\%$ , $z=5m$ και $V_s=50m/s$	124
Σχήμα 178: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S2 με $PI=66\%$ , $z=5m$ και $V_s=50m/s$ ...	124
Σχήμα 179: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S2 με $PI=66\%$ , $z=5m$ και $V_s=20-100$ m/s .....	125
Σχήμα 180: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S2 με $PI=66\%$ , $z=5m$ και $V_s=20-100$ m/s .....	125
Σχήμα 181: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Tabas σε έδαφος κατηγορίας S2 με $PI=66\%$ , $z=5m$ και $V_s=50-100$ m/s .....	126
Σχήμα 182: Μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την περίοδο για την περίπτωση διέγερσης με τη δράση του σεισμού Taft σε έδαφος κατηγορίας S2 με $PI=66\%$ , $z=5m$ και $V_s=50-100$ m/s .....	126